



Tecnológico de Monterrey

Reporte Final- Reto Único MR2006B: Automatización de un vehículo de trabajo con John Deere

Carlos Antonio Valadez Cisneros	A01568993
Orso Germán Valles Bastidas	A01567068
Raúl Alan Mayagoitia	A01563069
Alejandro Cesarretti Lopez Portillo	A01253252

29 de noviembre del 2024

Automatización industrial (Gpo 602 MTY 2413)

Profesores:

Elvira del Rosario Niño Juárez

Ricardo Esteban Roberts Ugrinovic

Riccardo Cespi

Índice

Introducción.....	3
Propuesta Inicial de solución.....	4
Desarrollo de proyecto.....	6
a. Definición del proyecto y desarrollo de la propuesta.....	6
b. Desarrollo de diseño conceptual.....	6
I. Especificaciones Técnicas del Producto.....	7
II. Definición de las Funciones del Producto.....	7
c. Ingeniería de detalle.....	8
I. Diseño CAD.....	8
II. Esquemático.....	9
Implementación y Evaluación.....	11
a. Desarrollo del prototipo.....	11
I. Ensamblaje del Vehículo.....	11
II. Implementación del Control Remoto.....	12
III. Desarrollo del Movimiento Adelante Controlado.....	12
IV. Implementación del Controlador PID.....	12
V. Calibración y Pruebas del PID.....	12
VI. Integración del Sensor Ultrasónico.....	13
VII. Secuencia de Giro Controlado.....	13
VIII. Compleción de una Trayectoria Cuadrada.....	13
IX. Añadido del Circuito de Telemetría.....	13
X. Ajuste Final de Tiempo y Velocidad.....	16
XI. Implementación de Transmisión de Imagen en tiempo real.....	16
b. Validación de funcionalidad.....	17
Conclusiones de la Implementación.....	17

Automatización de un vehículo de trabajo con John Deere

Introducción

En el contexto actual de la industria agrícola, la automatización y la innovación tecnológica han emergido como soluciones clave para enfrentar los retos relacionados con la eficiencia, la sostenibilidad y la creciente demanda global de alimentos. El reto de este bloque se centra en la implementación de soluciones automatizadas para mejorar procesos productivos, optimizar recursos y reducir el impacto ambiental, permitiendo una transición hacia un modelo agrícola más inteligente y competitivo.

Este reto se realiza en colaboración con John Deere, una empresa líder mundial en maquinaria agrícola y tecnología de automatización. Fundada en 1837, John Deere se ha destacado por su compromiso con la innovación en el sector agroindustrial, ofreciendo soluciones avanzadas que combinan equipos de alta calidad con herramientas digitales y sistemas de automatización inteligente. La empresa no solo busca incrementar la productividad de los agricultores, sino también promover prácticas sostenibles que respondan a los desafíos de un mundo en constante cambio. A través de este reto, se busca alinear los valores de la empresa con el desarrollo de propuestas éticas y eficientes que respondan a las demandas del mercado y a las expectativas de un futuro automatizado.

El reto incluye el diseño, desarrollo e implementación de una solución automatizada que resuelva un problema específico dentro del contexto agrícola o industrial relacionado con la maquinaria de John Deere. Los alcances abarcan desde la definición del problema y la propuesta de una solución innovadora hasta la presentación de prototipos funcionales o simulaciones que demuestren la viabilidad del proyecto.

Los entregables específicos del reto incluyen:

1. Este reporte técnico detallado que documente el análisis, diseño y desarrollo de la solución.
2. Un prototipo físico funcional que demuestre la implementación de la solución automatizada.

Propuesta Inicial de solución

Categoría	Componente	Explicación
Mecánicos	M3×10 Cross Screw	Tornillos que se utilizan para fijar las placas y otros componentes en su lugar.
	M3×14 Hexagon Socket Screw	Tornillos hexagonales para estructuras más resistentes.
	Bottom Plate y Top Plate	Placas base que forman el marco del robot, donde se montan los componentes.
	Separation Pillar	Pilares separadores que permiten mantener una distancia fija entre placas u otros componentes.
	Tires (4 PCS)	Llantas que permiten la movilidad del robot.
	Camera Bracket	Soporte para la cámara que facilita su montaje.
	Dead Plate	Placa adicional para fijar componentes secundarios.
	Copper Pillars	Pilares de cobre que se usan para soporte estructural.
Eléctricos/Electrónicos	Cell Box (Lithium Battery Holder)	Caja para sostener y conectar la batería que alimenta el sistema.
	Motor (4 PCS)	Motores que proporcionan la fuerza para mover las ruedas del robot.
	Ultrasonic Sensor Module	Sensor ultrasónico para medir distancias y detectar obstáculos.
	UNO R3 Board	Microcontrolador que actúa como el cerebro del sistema, procesando señales y controlando acciones.
	GY-521 Module	Módulo de giroscopio y acelerómetro para medir orientación y movimiento.
	USB Cables (Type B y Micro)	Cables para cargar el robot o conectar el controlador

		a un ordenador.
	Camera Module	Cámara para capturar imágenes o video, utilizada para aplicaciones de visión por computadora.
	IO Expansion Board	Placa para expandir las conexiones de entrada y salida del microcontrolador.
	HC-05 Module	Módulo Bluetooth para establecer comunicaciones inalámbricas con el robot
	GPS Module	Receptor de señales de los satélites del sistema GPS para determinar la ubicación geográfica del robot
	STM32F103C8T6	Microcontrolador que actúa como cerebro del sistema GPS y el módulo HC-05

Desarrollo de proyecto

a. Definición del proyecto y desarrollo de la propuesta

El reto se centró en la automatización de un vehículo de trabajo que se alineara con los estándares de calidad e innovación tecnológica de John Deere. El objetivo principal fue diseñar y desarrollar un sistema automatizado que mejorará la eficiencia operativa, optimizará los recursos y promoviera la sostenibilidad en el contexto agrícola. En particular, se trabajó en la integración de sensores, controladores y componentes mecánicos y electrónicos para permitir que el vehículo realizará la tarea de hacer una trayectoria en forma de cuadrado de manera autónoma.

A partir del análisis que se hizo entre las especificaciones del carrito y las tareas que debía de realizar, asociándose con lo que pedía el socio formador, se planteó una solución innovadora que combinó diseño mecánico, electrónica y programación. La propuesta contempló el diseño conceptual del sistema, especificaciones técnicas y la selección de componentes adecuados para nuestro prototipo final del carrito

b. Desarrollo de diseño conceptual

Con base en el análisis realizado previamente se optó por obtener un kit de carrito que contaba con chasis, llantas y motores. Basado en este, se implementaron los componentes electrónicos adicionales necesarios para cumplir con las necesidades especificadas por el socio formador y fueron adaptados al chasis ya existente, mientras que las funciones requeridas como un PID de control lineal, detección de objetos y transmisión wireless de datos de telemetría fueron integradas en un solo código junto con el control de los motores.

I. Especificaciones Técnicas del Producto

Dimensiones:

Tamaño del chasis: 20x30 cm.

Peso máximo soportado: 2 kg.

Movimiento:

Velocidad máxima: 2 m/s.

Radio de giro: 15 cm.

Alimentación:

Batería recargable de 7.4V, 2000 mAh.

Consumo máximo: 1.5A.

Software:

Interfaz de control: Comunicación serial (alámbrico) y Bluetooth (inalámbrico).

Respuesta al comando: Tiempo máximo de 100 ms.

II. Definición de las Funciones del Producto

La función principal del carrito controlado por STM Y ARDUINO es facilitar el movimiento dirigido mediante un mecanismo de dirección tipo Ackerman, permitiendo que avance, retroceda y gire según comandos específicos. Este sistema opera con un control dual, que incluye una modalidad alámbrica a través de un teclado y una modalidad inalámbrica mediante un módulo Bluetooth conectado a un dispositivo Android. Además, el carrito cuenta con un sistema de parada automática, deteniéndose en ausencia de comandos para garantizar seguridad. Su diseño asegura una respuesta rápida, ejecutando instrucciones en tiempos inferiores a 100 ms. Gracias a su estructura modular, permite la adaptabilidad, integrando componentes adicionales como joysticks o sensores para ampliar sus capacidades. Finalmente, el carrito cumple una función de demostración educativa, sirviendo como herramienta para aprender conceptos prácticos de control, robótica y sistemas embebidos.

c. Ingeniería de detalle

I. Diseño CAD

Primeramente el equipo se enfocó en obtener un modelo asistido por computadora del chasis, ruedas y motores con los que ya se contaba. Gracias al software de Solidworks, sobre este mismo modelo se implementaron todos los componentes electrónicos seleccionados previamente para asegurarse de que estos se acomodaran en la estructura y garantizar una distribución de peso equitativa para evitar que el vehículo perdiera tracción tanto en el eje delantero o trasero, así como evitar que se cargara más hacia un lado. Tras integrar los componentes electrónicos al chasis se obtuvo el modelo CAD presentado en la imagen 1.

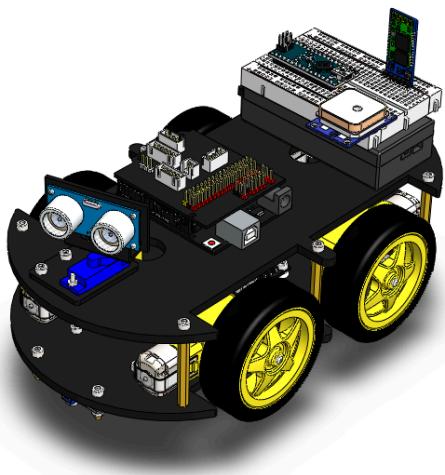


Imagen 1. CAD Integrado

La vista explosionada de este mismo diseño en la imagen 2 permite observar cómo cada pieza se sujeta por tornillería adecuada al chasis del vehículo para evitar desprendimientos en las pruebas en terreno irregular.

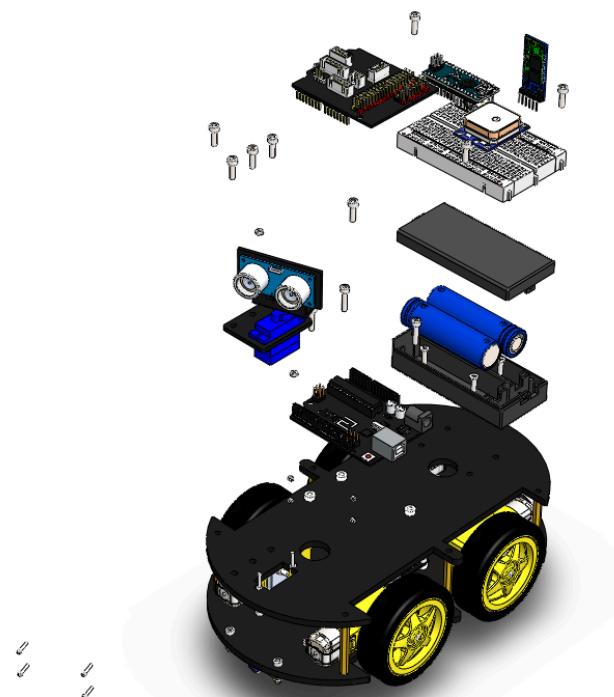


Imagen 2. Vista explosionada CAD

II. Esquemático

Una vez seguros de que los componentes caben en el chasis y cumplen la función requerida tras hacer pruebas con cada uno individualmente, se procedió a obtener un esquemático sencillo pero efectivo para controlar primero las funciones de desplazamiento y detección de objetos del vehículo. Este se presenta en la imagen 3.

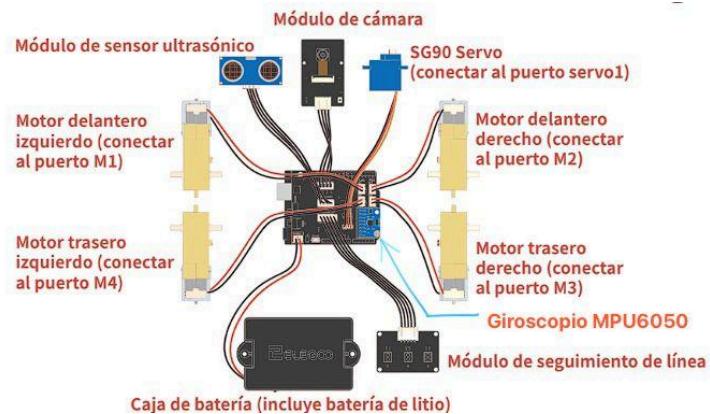


Imagen 3. Esquemático de funciones de desplazamiento del vehículo

Debido a que el sistema de telemetría tenía requerimientos propios como la utilización de un STM32 como controlador, se optó por realizar un sistema aislado a través del cuál controlar únicamente el sistema GPS y transmisión de datos. Este sistema aislado se puede observar en la imagen 1 en la parte posterior del vehículo, mientras que su esquemático se puede ver en la imagen 4. A pesar de cumplir funciones diferentes, ambos sistemas son alimentados por la misma batería recargable.

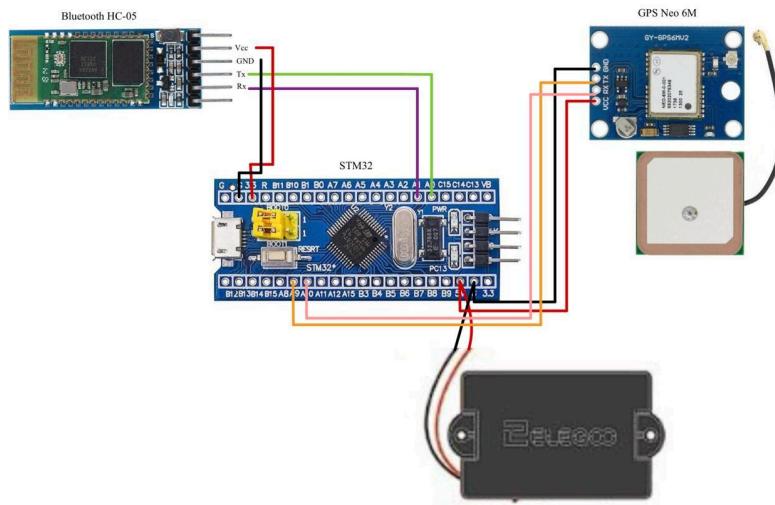


Imagen 4. Esquemático de sistema de telemetría

Implementación y Evaluación

a. Desarrollo del prototipo

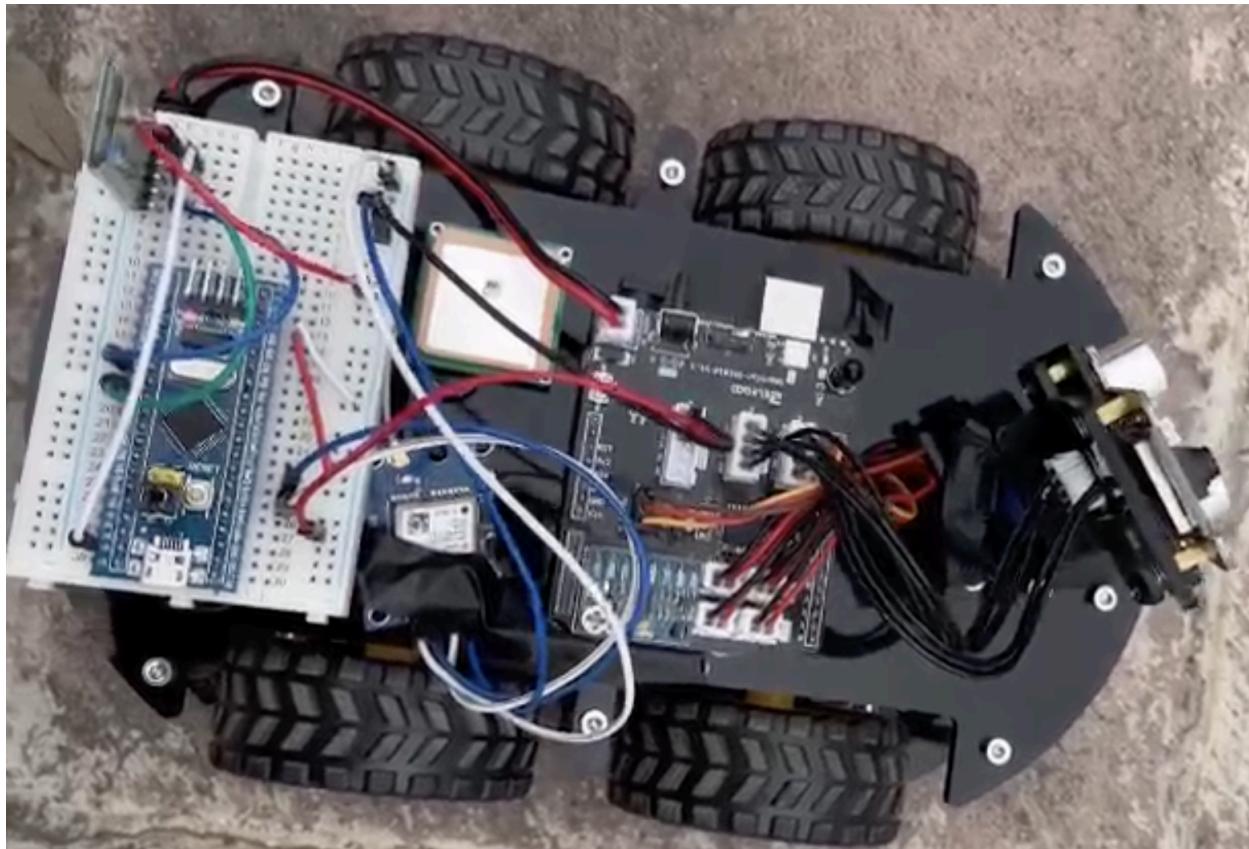


Imagen 5. Implementación del carrito (vida real)

El proceso de desarrollo del prototipo se llevó a cabo en diversas etapas, integrando componentes mecánicos y electrónicos para lograr un vehículo autónomo que pudiera cumplir con las especificaciones requeridas.

I. Ensamblaje del Vehículo

Inicialmente, se procedió al ensamblaje del vehículo utilizando los componentes previamente seleccionados. Se montaron las placas base inferior y superior, se fijaron los motores y las llantas, y se aseguraron todos los elementos mecánicos con tornillería M3×10 y M3×14. Se utilizaron pilares separadores para mantener la estructura rígida y bien equilibrada para no tener

esta preocupación durante las pruebas en terrenos irregulares. Este paso fue fundamental porque es lo que garantizaba una base sólida sobre la cual poder montar los componentes electrónicos y asegurar una distribución uniforme del peso.

II. Implementación del Control Remoto

Con el chasis ensamblado, se cargó un código de ejemplo en el microcontrolador Arduino UNO R3 que permitía controlar el vehículo de forma remota. Este código facilitó las pruebas iniciales de movilidad con nuestro sistema de dirección diferencial y permitió familiarizarse con la interacción entre el hardware y el software. Se utilizó un módulo ESP32 wifi para establecer la comunicación inalámbrica entre el vehículo y un dispositivo remoto, permitiendo el control remoto de las funciones básicas de movimiento (adelante, atrás, izquierda y derecha).

III. Desarrollo del Movimiento Adelante Controlado

Posteriormente, se desarrolló un código que permitía al vehículo avanzar de manera autónoma controlando el tiempo y la velocidad de cada motor. Todo para establecer un movimiento en línea recta con una velocidad constante.

IV. Implementación del Controlador PID

Para mejorar la precisión del movimiento y corregir cualquier desviación ocasionada por el terreno o peso en el movimiento rectilíneo del vehículo, se implementó un controlador PID utilizando los valores de yaw obtenidos del módulo giroscopio. El controlador PID ajustaba en tiempo real la velocidad de los motores en función de la orientación del vehículo, corrigiendo errores y manteniendo el ángulo inicial y una trayectoria recta.

V. Calibración y Pruebas del PID

Se realizaron múltiples pruebas para ajustar y definir los valores óptimos de los parámetros del PID (Proporcional, Integral y Derivativo). Estas pruebas involucraron iteraciones de ajuste y medición de la respuesta del vehículo, permitiendo optimizar el controlador para las condiciones específicas del entorno irregular y las características de los motores y llantas del vehículo.

VI. Integración del Sensor Ultrasónico

Se codificó el sensor ultrasónico para detener el movimiento de los motores en caso de detectar objetos a menos de 20 cm de distancia. Esta función simple añadió protección adicional y evitó que el carrito sufriera daños durante la etapa de pruebas. Así, el vehículo reaccionaba a obstáculos y evitara colisiones.

VII. Secuencia de Giro Controlado

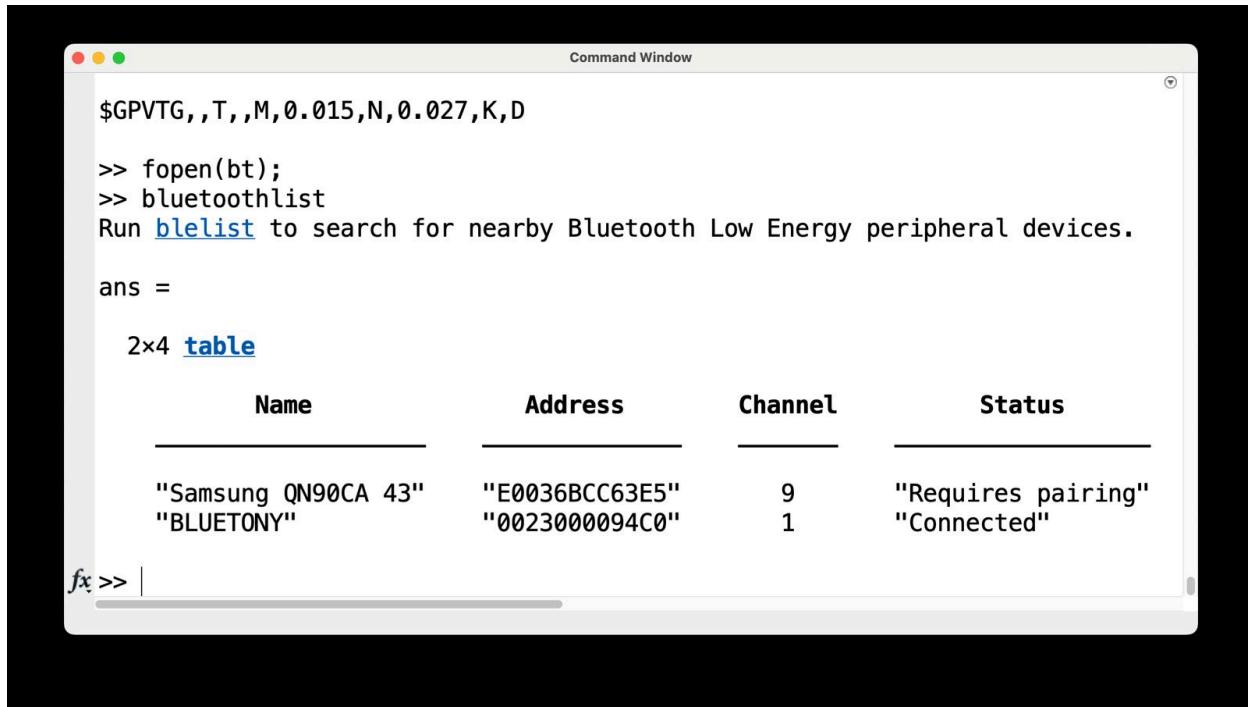
Se implementó una secuencia de giro utilizando los datos de yaw del giroscopio. El vehículo fue programado para girar 90 grados a la izquierda, controlando la velocidad de giro para asegurar precisión en la maniobra. Se estableció un rango de tolerancia entre 89 y 92 grados para considerar el giro como exitoso.

VIII. Trayectoria Cuadrada

Utilizando un bucle en el código, se programó al vehículo para repetir la secuencia de avance y giro cuatro veces, completando así una trayectoria en forma de cuadrado. Lo cual fue un éxito en donde se demostró la capacidad del vehículo para ejecutar movimientos secuenciales de manera autónoma y precisa, estos patrones de movimiento fácilmente podrían ser aplicables en tareas agrícolas como el mapeo de campos o la siembra y arar de la tierra totalmente automatizado.

IX. Añadido del Circuito de Telemetría

Durante la fase de pruebas, ya con el carrito en funcionamiento, se añadió un circuito de telemetría que incluía un módulo GPS y un módulo Bluetooth HC-05 conectados al microcontrolador STM32F103C8T6. Este permitía recibir datos de posicionamiento en tiempo real y transmitirlos a una computadora para su análisis. Aunque inicialmente se tuvieron bastantes problemas en la configuración de los módulos Bluetooth y la estabilización de la conexión con una laptop, finalmente se logró una comunicación eficiente que permitió mapear el recorrido del vehículo utilizando MATLAB y la función de `geoplot(lat, lon)`.



```

$GPVTG,,T,,M,0.015,N,0.027,K,D

>> fopen(bt);
>> bluetoothlist
Run blelist to search for nearby Bluetooth Low Energy peripheral devices.

ans =

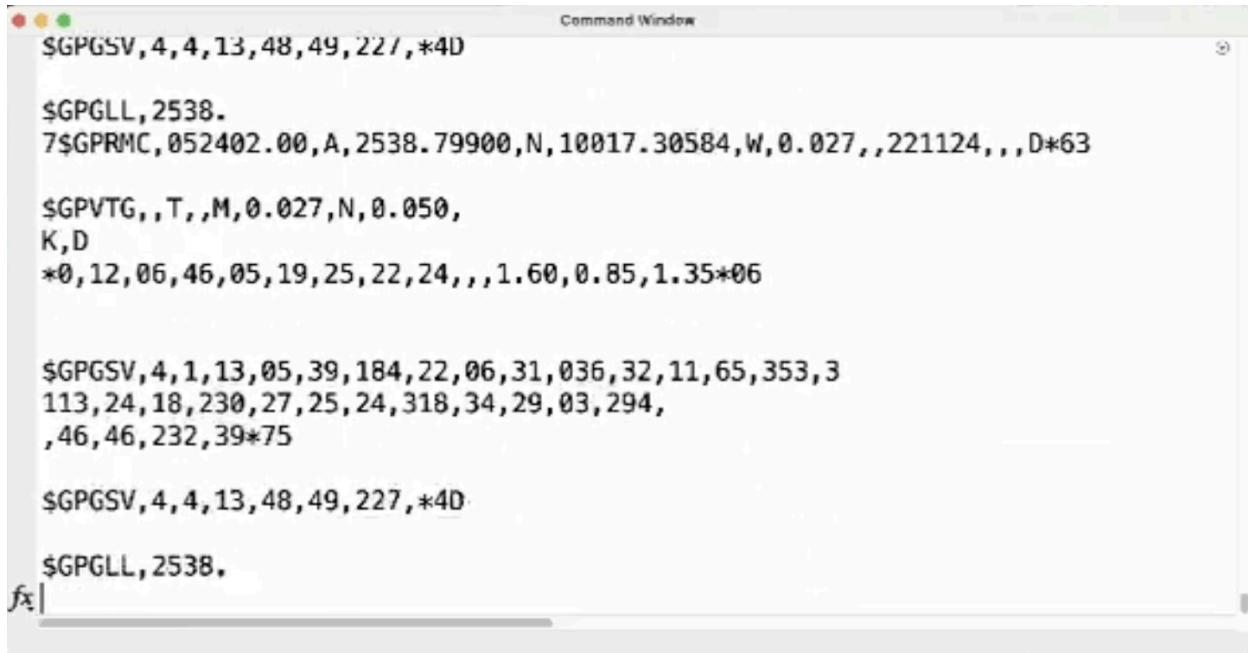
2x4 table

  Name          Address        Channel      Status
  _____        _____        _____      _____
  "Samsung QN90CA 43"  "E0036BCC63E5"    9      "Requires pairing"
  "BLUETONY"       "0023000094C0"    1      "Connected"

fx >> |

```

Imagen 6. Conexión inicial usando bluetoothlist y fopen() en MATLAB.



```

$GPGSV,4,4,13,48,49,227,*4D

$GPGLL,2538.
7$GPRMC,052402.00,A,2538.79900,N,10017.30584,W,0.027,,221124,,,D*63

$GPVTG,,T,,M,0.027,N,0.050,
K,D
*0,12,06,46,05,19,25,22,24,,,1.60,0.85,1.35*06

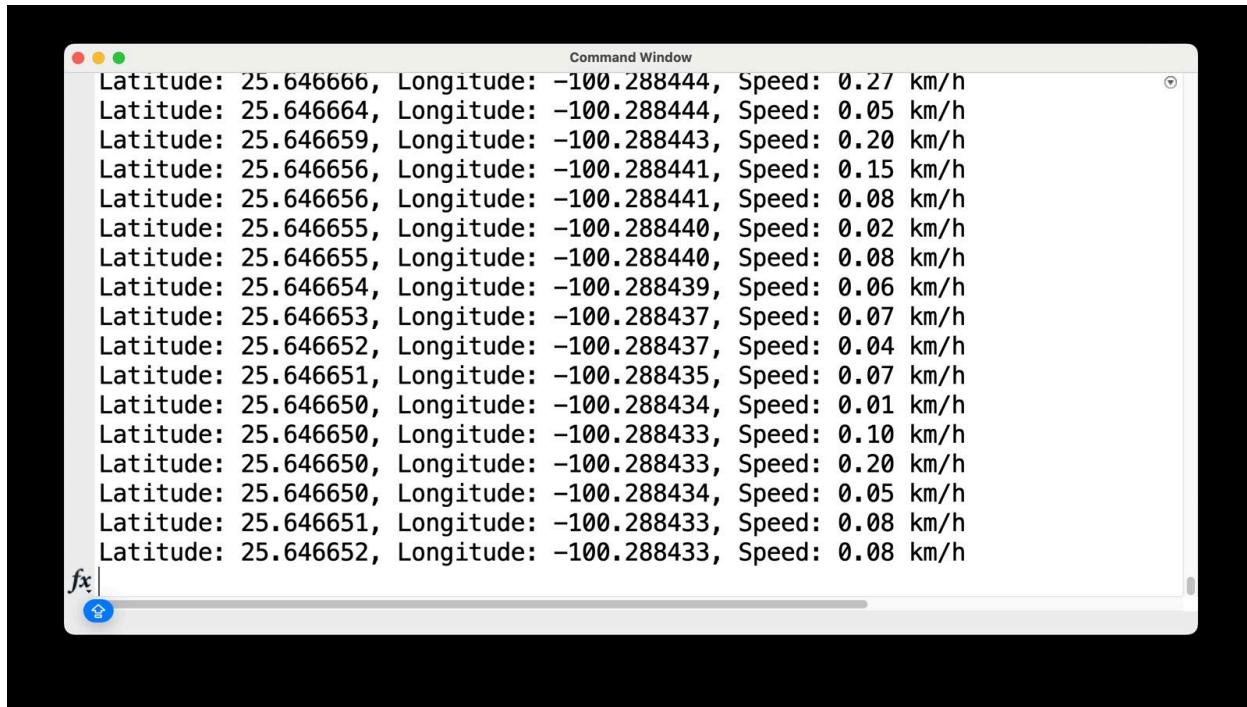
$GPGSV,4,1,13,05,39,184,22,06,31,036,32,11,65,353,3
113,24,18,230,27,25,24,318,34,29,03,294,
,46,46,232,39*75

$GPGSV,4,4,13,48,49,227,*4D

$GPGLL,2538.
fx|

```

Imagen 7. Conexión inicial sin orden de datos.



```
Command Window
Latitude: 25.646666, Longitude: -100.288444, Speed: 0.27 km/h
Latitude: 25.646664, Longitude: -100.288444, Speed: 0.05 km/h
Latitude: 25.646659, Longitude: -100.288443, Speed: 0.20 km/h
Latitude: 25.646656, Longitude: -100.288441, Speed: 0.15 km/h
Latitude: 25.646656, Longitude: -100.288441, Speed: 0.08 km/h
Latitude: 25.646655, Longitude: -100.288440, Speed: 0.02 km/h
Latitude: 25.646655, Longitude: -100.288440, Speed: 0.08 km/h
Latitude: 25.646654, Longitude: -100.288439, Speed: 0.06 km/h
Latitude: 25.646653, Longitude: -100.288437, Speed: 0.07 km/h
Latitude: 25.646652, Longitude: -100.288437, Speed: 0.04 km/h
Latitude: 25.646651, Longitude: -100.288435, Speed: 0.07 km/h
Latitude: 25.646650, Longitude: -100.288434, Speed: 0.01 km/h
Latitude: 25.646650, Longitude: -100.288433, Speed: 0.10 km/h
Latitude: 25.646650, Longitude: -100.288433, Speed: 0.20 km/h
Latitude: 25.646650, Longitude: -100.288434, Speed: 0.05 km/h
Latitude: 25.646651, Longitude: -100.288433, Speed: 0.08 km/h
Latitude: 25.646652, Longitude: -100.288433, Speed: 0.08 km/h
fx|
```

Imagen 8. Output del GPS después de reorganizar los datos

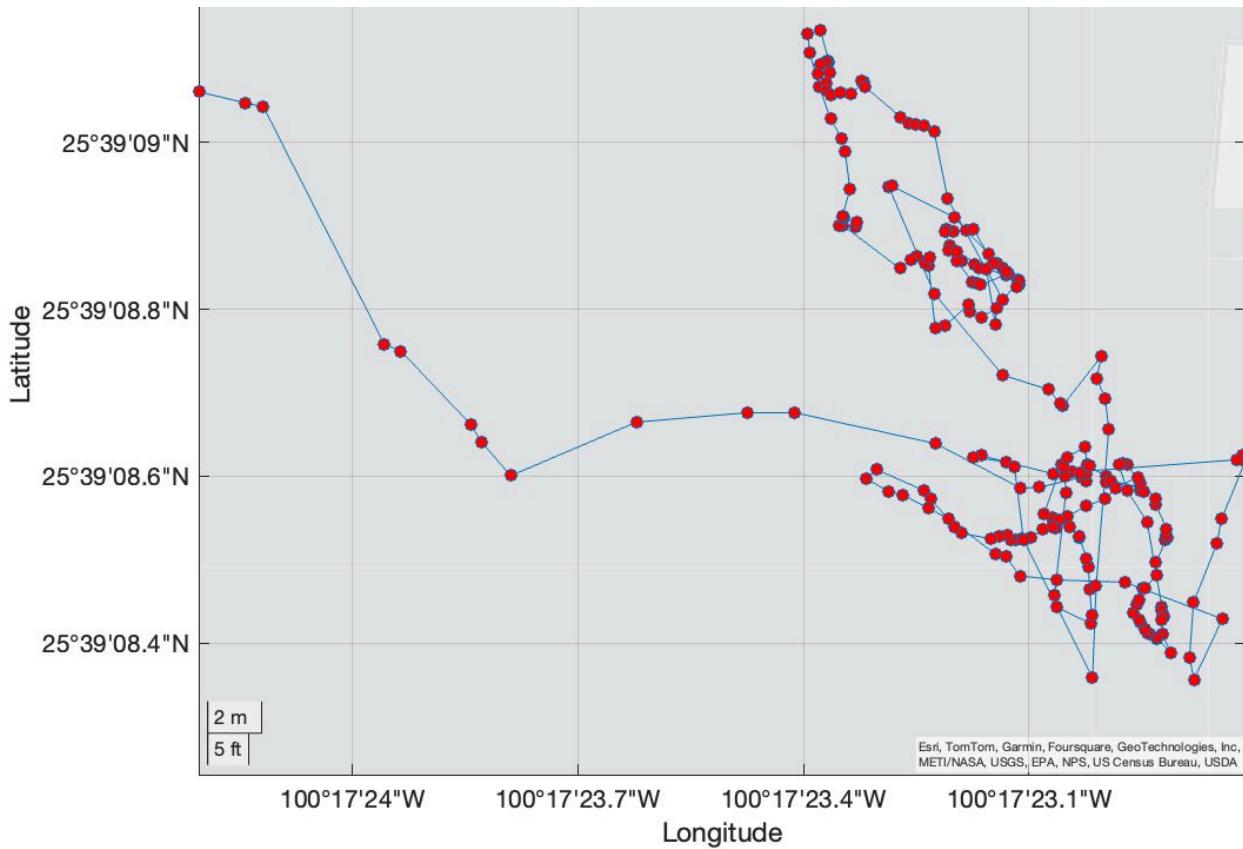


Imagen 9. Ejemplo de trayectoria real usando geoplot()

X. Ajuste Final de Tiempo y Velocidad

Se definieron los parámetros finales de tiempo y velocidad de avance para cumplir con las distancias deseadas en cada tramo de la trayectoria. Se realizaron ajustes finos en el código para sincronizar los movimientos y asegurar que el vehículo completara el cuadrado con precisión, teniendo en cuenta factores como la aceleración, el frenado y las condiciones irregulares del terreno de adoquín mostrado en la imagen 10.



Imagen 10. Terreno del CIAP.

XI. Implementación de Transmisión de Imagen en tiempo real.

Adicionalmente, se integró una cámara ESP32 , lo que permitió la transmisión en tiempo real de imágenes capturadas por el vehículo. Este pequeño extra abre las capacidades del prototipo, he incluso nos enseñó las bases sobre cómo pudiéramos haber empezado a programar

un sistema de visión artificial, abriendo posibilidades para aplicaciones de monitoreo, vigilancia y recopilación de datos visuales en el campo.

b. Validación de funcionalidad

- **Pruebas de Movimiento:** Se verificó que el vehículo pudiera avanzar y girar con precisión según lo programado. Las pruebas confirmaron la eficacia del controlador PID y el giroscopio y la capacidad del sistema para mantener una trayectoria estable.
- **Respuesta del Sensor Ultrasónico:** Se comprobó que el vehículo detenía su avance al detectar obstáculos dentro del rango establecido (20 cm).
- **Evaluación de la Telemetría:** Se analizó la precisión de los datos proporcionados por el módulo GPS y la eficacia de la transmisión de datos a través del Bluetooth. Se logró mapear con éxito un ejemplo del recorrido del carrito, lo que validó la funcionalidad del sistema de telemetría y todas sus posibles aplicaciones.
- **Impacto del Peso Adicional:** Se evaluó cómo el peso de los componentes adicionales, como el circuito de telemetría y protoboard adicional, afectaba el rendimiento y arrastre del vehículo. Se optó por fijar la protoboard en la parte trasera del carrito para mitigar cualquier efecto.
- **Transmisión de Imágenes:** A través de la cámara ESP32, asegurando una conexión estable y una calidad de imagen aceptable para el monitoreo y dirección del carrito.

Conclusiones de la Implementación

Demostramos la integración coordinada exitosa de componentes mecánicos y electrónicos para resolver un problema muy específico en este caso en el contexto agrícola. El proyecto permitió aplicar controladores para la mejora de la precisión, integrar sensores para aumentar la seguridad, implementar sistemas de comunicación y telemetría, así como desarrollar soluciones adaptables a entornos poco predecibles y terrenos irregulares.