

Sistema de mando inalámbrico para vehículo terrestre no tripulado

Juan P. Velis Álvarez, Ernesto G. Ortega Díaz, Deyvy Aguilar García.

RESUMEN / ABSTRACT

El presente trabajo propone el diseño e implementación de un Sistema de Mando Inalámbrico (SMI), que emplea hardware comercial y firmware para dirigir los actuadores de un Vehículo Terrestre No Tripulado (VTNT). El sistema se compone de un radiocontrol Futaba T10CAG (2.4 GHz), un receptor R6014HS, un Arduino Uno y una placa de acondicionamiento de señales, que permiten el control preciso de movimientos lineales y giros del VTNT. La caracterización del VTNT y su integración con el SMI garantizan la gobernabilidad remota del vehículo. En pruebas experimentales, se demuestra su funcionamiento hasta distancias de 800 m, lo que supera las limitaciones de alcance de tecnologías WiFi y Bluetooth. Además, el diseño evita la dependencia de infraestructuras celulares como LTE/5G, convirtiéndolo en una opción ideal para operaciones en entornos de difícil acceso. Aun cuando las cajas controladoras imponen restricciones en la inversión del sentido de los motores, lo cual limita la maniobrabilidad en situaciones que requieren cambios rápidos de dirección, el SMI obtenido es una solución viable. La combinación de hardware comercial y firmware, ofrece soberanía tecnológica, posibilidades de mejoras y personalización futura para optimizar el desempeño del VTNT en diversas aplicaciones.

Palabras claves: Sistema de Mando Inalámbrico, Vehículo Terrestre No Tripulado, Radiocontrol Futaba, hardware comercial y firmware, Arduino Uno.

This work proposes the design and implementation of a Wireless Command System (WCS) that uses commercial hardware and firmware to control the actuators of an Unmanned Ground Vehicle (UGV). The system consists of a Futaba T10CAG (2.4 GHz) radio controller, an R6014HS receiver, an Arduino Uno, and a signal conditioning board, which allow precise control of linear and rotational movements of the UGV. The characterization of the UGV and its integration with the WCS guarantees remote steering of the vehicle. Experimental tests demonstrate its operation up to distances of 800 m, which overcomes the range limitations of WiFi and Bluetooth technologies. Furthermore, the design avoids dependence on cellular infrastructures such as LTE/5G, making it an ideal option for operations in hard-to-reach environments. Although the controller boxes impose restrictions on motor reversal, which limits maneuverability in situations requiring rapid changes of direction, the obtained WCS is a viable solution. The combination of commercial hardware and firmware offers technological sovereignty, possibilities for future improvements and customization to optimize the UGV's performance in various applications.

Keywords: *Wireless Control System, Unmanned Ground Vehicle, Futaba Radio Control, commercial hardware and firmware, Arduino Uno.*

Wireless control system for unmanned ground vehicle

1. –INTRODUCCIÓN

Los VTNT han revolucionado sectores como la defensa, la logística, la agricultura de precisión y las operaciones de rescate, al permitir la ejecución de tareas en entornos peligrosos o inaccesibles para humanos [1]. Un componente crítico en su funcionalidad es el sistema de mando inalámbrico, responsable de garantizar una comunicación estable, segura y de baja latencia entre el operador y el vehículo [2]. Sin embargo, el diseño de estos sistemas enfrenta desafíos técnicos significativos,

Recibido: 04/2025 Aceptado: 07/2025

como interferencias electromagnéticas, limitaciones de alcance, vulnerabilidades de seguridad y la necesidad de adaptabilidad en entornos dinámicos.

Aunque tecnologías como WiFi (alcance menor a 100 m) [3], Bluetooth (alcance menor a 10 m) [4], LTE/5G y protocolos de radiofrecuencia (RF) han sido ampliamente adoptadas, persisten deficiencias en su aplicación específica para VTNT, especialmente en escenarios que demandan alta confiabilidad en tiempo real.

En [5] se diseñó y desarrolló un VTNT con tecnología de robótica de enjambre. Presenta el desarrollo de un módulo de comunicación y seguimiento visual de bajo costo que permite conectar robots pequeños para comunicarse mediante un teléfono móvil. El desarrollo incluyó Node VGA en robots controlados remotamente y VTNT con motores DC, controlador de sensores L2005x, motor servo, cámaras ESP32 y verificación mecánica. Las deficiencias de este trabajo es el corto alcance que presenta la WiFi de los teléfonos móviles que es el elemento empleado para enviar los mandos hacia los VTNT, la inestabilidad en entornos cogestionados y un consumo energético considerable.

En [2] se propone un VTNT inteligente radio controlado para abordar problemas de seguridad como las actividades terroristas transfronterizas y en diversas misiones de combate remotas, reduciendo la participación de los soldados. El movimiento del robot se puede controlar con dos modos: uno es un controlador de radio que funciona en la frecuencia de 2,4 GHz con siete canales independientes y otro mediante una aplicación GUI basada en Python. El robot utiliza un mecanismo de accionamiento de piñón y cremallera y una CPU ATMEL Cortex-M3 como controlador con una velocidad de procesamiento de 32 bits. Para este caso el radio control no es profesional, fue elaborado con un transmisor NRF24L01 comercial y es sensible a las interferencias.

Colossus [6] es un VTNT de extinción de incendios controlado remotamente y está diseñado para operar en entornos hostiles. Se gobierna hasta distancias de 300 metros y transporta herramientas pesadas o extrae personas heridas. Aunque tiene una velocidad limitada de 3.5 km/h y puede subir a superficies irregulares.

Taiwán apuesta por robotizar la extinción de incendios. Realizó una demostración del VTNT llamado LUF 60 [7] el cual es controlado remotamente. Sube pendientes de 30° y elimina obstáculos gracias a su chasis montado sobre orugas.

Palmiche [8, 9] es un robot seguidor de rutas, desarrollado en Cuba por un equipo del Grupo de Robótica y Mecatrónica (GRM) de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), en colaboración con las Facultades de Arquitectura y Automática. Aunque cuenta con resultados relevantes en competiciones, la documentación publicada por los autores no garantiza su reproducibilidad.

Palmiche Galeno Plus [9, 10] es un robot para transporte de cargas desarrollado en Cuba sobre plataformas libres como, el Teensy (el mecanismo de control y mapeo), Arduino (para la detección de objetos y evasión de obstáculos) y Raspberry Pi (control visual y remoto del diseño). La singular máquina tiene la capacidad de moverse hasta 60 kilómetros por hora con una carga de 500 kilogramos. Para los médicos y voluntarios que trabajaron en el centro de aislamiento, el robot fue una inestimable ayuda no solo porque humanizó el trabajo, sino porque permitió mantener las medidas sanitarias necesarias en etapas de COVID.

En los SMI de los antecedentes internacionales, no se encontró información del empleo de plataformas de hardware del tipo Arduino. Además, en ambos casos de antecedentes nacionales e internacionales no se obtuvo documentación técnica ni científica suficiente para la reproducibilidad de los vehículos.

El problema de esta investigación radica, en que no se cuenta con un SMI para el gobierno de los actuadores a distancia de un VTNT. El objetivo del trabajo es, por tanto, realizar su diseño e implementación.

La contribución fundamental del trabajo radica en:

- Integración de tecnologías y aprovechamiento de recursos disponibles: La combinación de un radiocontrol Futaba, un receptor de señales moduladas por ancho del pulso (PWM por sus siglas en inglés), un Arduino Uno y electrónica para acondicionamiento de señales, demuestra la integración de diversas tecnologías para crear un SMI.

El artículo se estructura de forma tal que en la sección 2, se plasma la caracterización del VTNT y el desarrollo del hardware y firmware del SMI, en la sección 3, se evalúan y discuten los resultados obtenidos teniendo en cuenta la gobernabilidad del vehículo, por último, en la sección 4, se expresan las conclusiones de la investigación realizada.

2.-MATERIALES Y MÉTODOS: SISTEMA DE MANDOS INALÁMBRICOS

2.1.- CARACTERIZACIÓN DEL VEHÍCULO TERRESTRE NO TRIPULADO

El VTNT fue desarrollado a partir del empleo de partes y piezas de dos triciclos eléctricos (Fig. 1 izquierda) se compone de 2 motores eléctricos de CC sin escobillas trifásico de 60 V / 1 kW con sus respectivas cajas controladoras. Presenta tres sensores de efecto Hall que le suministran la realimentación de la velocidad a las cajas controladoras (Fig. 1 derecha). Cuenta con tracción 4x4 implementada mediante cadenas que acoplan las ruedas de cada lado. Emplea 5 baterías de ácido de 12 V 45 Ah conectadas en serie para formar un voltaje nominal de 60 V. A partir de la potencia máxima consumida por parte del vehículo que es de 2 kW y la potencia máxima suministrada por la batería que es de 2700 Wh, el cociente de ambas resulta en un tiempo mínimo de 1.35 h, aunque se reserva un margen de energía del 50 % lo que conlleva a un tiempo de trabajo aproximado del VTNT de 45 min.

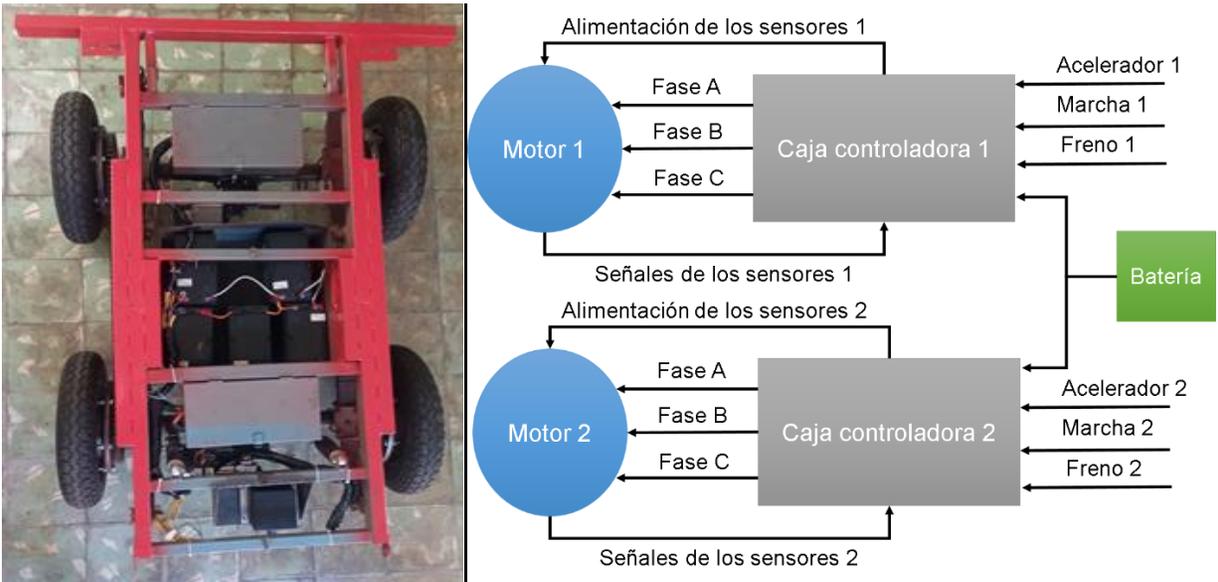


Figura 1

Vista superior del VTNT (izquierda) y diagrama en bloques del sistema eléctrico (derecha).

El funcionamiento del vehículo se basa en dos movimientos lineales (Fig. 2 a y b), dos giros estacionarios (Fig. 2 c y d) y cuatro giros sobre la marcha (Fig. 2 c, d, e y f), estos se deben realizar de forma independiente debido a las limitaciones propias de las cajas controladoras, ya que no permiten cambiar el sentido de giro de los motores hasta que no se detengan. Ambos giros estacionarios se realizan en el lugar, desde una posición con velocidad lineal igual a cero. Las ruedas de la izquierda se encuentran acopladas entre ellas por una cadena, de la misma forma ocurre con las ruedas de la derecha, esto garantiza que las ruedas de cada banda se muevan juntas en el mismo sentido. Para gobernar el VTNT (Fig. 1 derecha) se debe accionar eléctricamente sobre ambos motores a través de sus respectivas cajas controladoras, que se encarga de controlar la velocidad de los motores (7 a 30 km/h) con seis señales, acelerador 1 y 2 (señales analógicas de 0 a 5 V de CC), marcha 1 y 2 (señales digitales, nivel bajo 0 V, nivel alto 5 V) y freno 1 y 2 (señales digitales, nivel bajo 0 V, nivel alto 5 V). La caja controladora se limita a esta velocidad mediante el cableado directo del conmutador de velocidades a la primera velocidad. Para que el VTNT se mueva hacia delante o hacia atrás ambas señales de los aceleradores 1 y 2 deben ser mayores que cero e iguales, las señales de marcha deben tener el mismo nivel lógico en dependencia de la dirección del movimiento y los frenos tienen que estar en nivel bajo. Para realizar los giros estacionarios hacia la izquierda o derecha, es igual que el caso anterior pero los niveles lógicos de las señales de marcha deben ser distintos. El giro sobre la marcha hacia la izquierda o hacia la derecha, tanto hacia adelante como hacia atrás, se realiza colocando las señales de marcha ambas en alto o en bajo en dependencia de la dirección, los frenos en bajo y una de las señales de los aceleradores varía, mientras que la otra se coloca en cero ya que es la que coincide con la dirección del giro.

Se garantiza la gobernabilidad del VTNT de forma inalámbrica a través de una relación de movimiento (Fig.2) entre el radiocontrol y el VTNT. Se emplean los canales 2 y 3 (C2 y C3 respectivamente) del radiocontrol. C2 se encarga de los

movimientos hacia adelante y hacia atrás, mientras que C3 permite los giros estacionarios y al combinar C2 y C3 se logran los cuatro giros sobre la marcha.

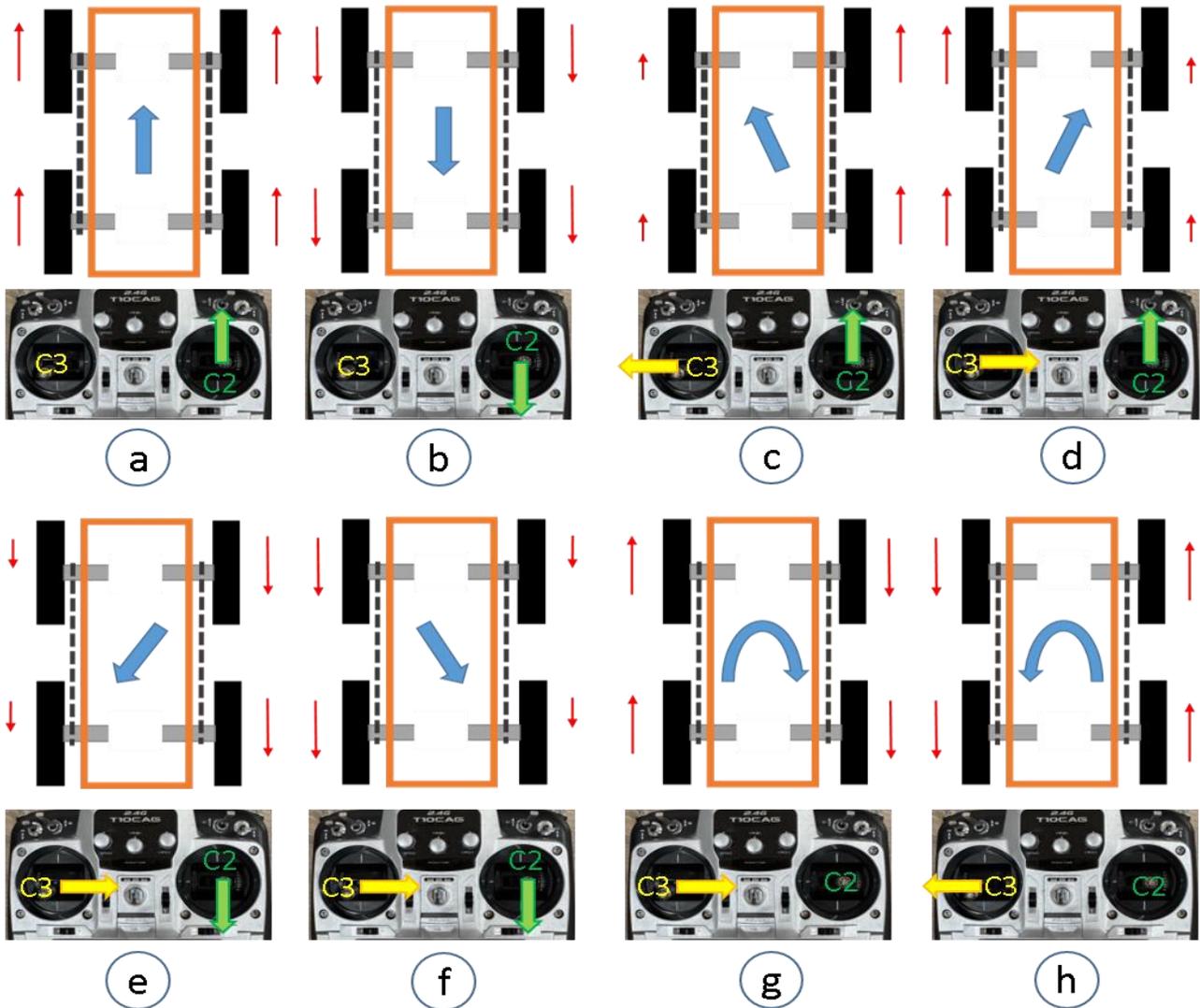


Figura 2

Relación de movimiento entre el radiocontrol y el VTNT. Movimiento hacia delante (a), movimiento hacia atrás (b), giro a la izquierda hacia delante (c), giro a la derecha hacia delante (d), giro a la izquierda hacia atrás (e) y giro a la derecha hacia atrás (f) giro estacionario a la izquierda (g) y giro estacionario a la derecha del VTNT (h).

2.2.- HARDWARE Y FIRMWARE DEL SISTEMA DE MANDOS INALÁMBRICOS

El SMI (Fig. 3) se compone de un receptor R6014HS [11, 12], un Arduino Uno [13] y una placa de circuito impreso (PCI) acondicionadora. El radiocontrol T10CAG [11, 12] diseñado para aplicaciones de largo alcance y baja latencia, es el encargado de transmitir los mandos de forma inalámbrica.

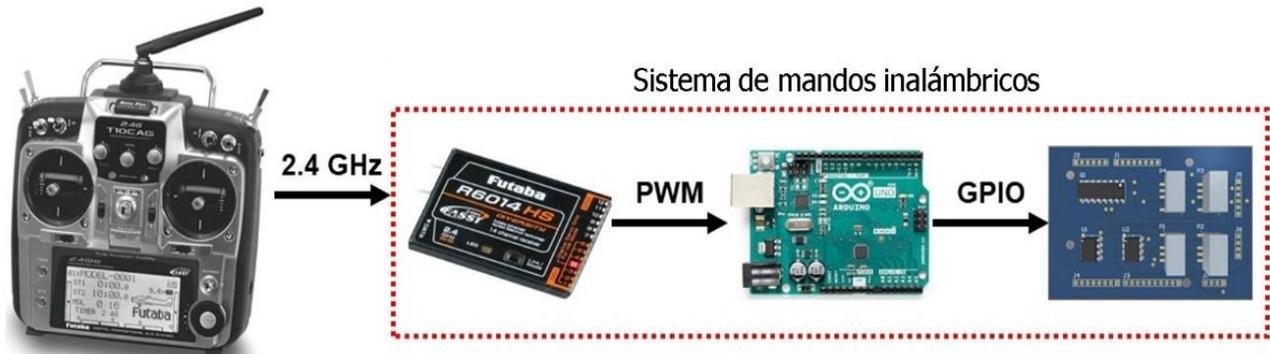


Figura 3
 Composición del SMI más el radiocontrol.

El funcionamiento del SMI se basa en el empleo del radiocontrol T10CAG, para enviar señales proporcionales a los mandos de 2.4 GHz hacia el receptor, el cual las convierte en señales PWM [14], que son enviadas al Arduino UNO [15]. Este último, se encarga de procesar las señales del receptor y entregar los mandos hacia la placa de acondicionamiento que cuenta con dos capacitores referenciados a tierra como filtros pasa bajo, para convertir la señales PWM en señales de CC (Fig. 4), dos circuitos integrados amplificadores operacionales del tipo AD820ANZ en configuración buffer [16] que entrega las señales a las cajas controladoras para garantizar la aceleración de los motores en un rango de voltaje analógico de 1.2 a 5 V. Cuenta con un circuito integrado ULN2003AN, el cual es un arreglo de transistores en configuración Darlington a colector abierto, con una entrada inversora para la conmutación de los relés encargados de conectar elementos adicionales como luces, intermitentes y claxon, así como, la selección del tipo de marcha y el frenado electrónico.

En la Tabla 1, se relacionan las conexiones entre los seis canales del receptor R6014HS y los canales digitales de entrada del Arduino UNO. La salida PWM 6 del receptor R6014HS es un canal de reserva para actuadores de dos estados.

Tabla 1
 Conexiones entre el receptor y el Arduino UNO

Receptor R6014HS	Arduino UNO
Salida PWM 1	Entrada digital D8
Salida PWM 2	Entrada digital D9
Salida PWM 3	Entrada digital D2
Salida PWM 4	Entrada digital D3
Salida PWM 5	Entrada digital D4
Salida PWM 6	Entrada digital D7
VCC	Salida de 5 VCC
GND	GND

La PCI se elaboró con el empleo de la herramienta de diseño electrónico Altium Designer V16.1.7. El esquema eléctrico se muestra en la Fig 4. Su construcción con forma de escudo, facilitó el acoplamiento sobre el Arduino Uno.

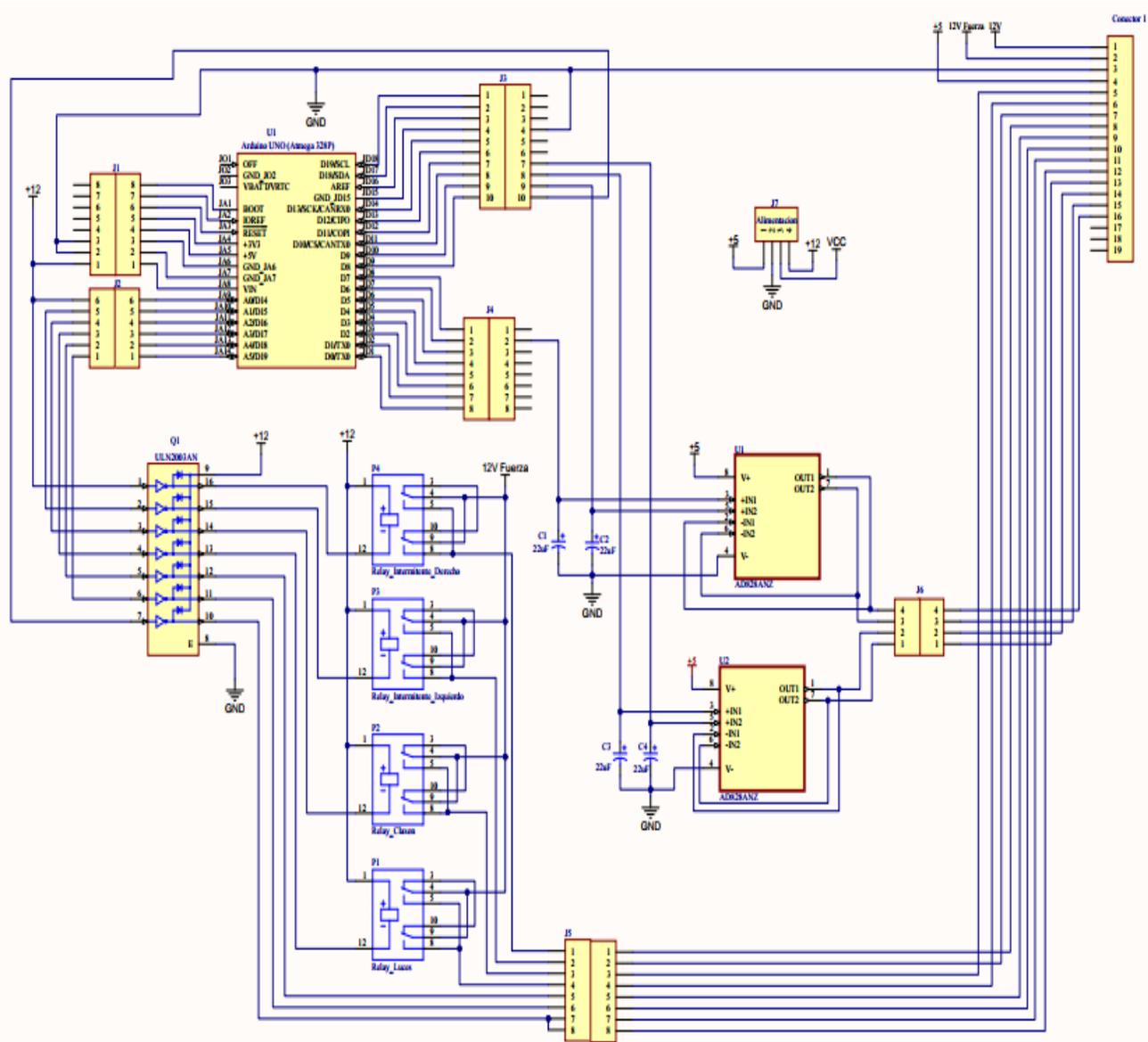


Figura 4

Esquema eléctrico de la PCI acondicionadora.

La Tabla 2, relaciona los pines utilizados para las conexiones entre el conector del SMI y el VTNT.

El firmware del SMI se programó en lenguaje C++ se empleó el Ambiente de Desarrollo Integrado (IDE por sus siglas en inglés) Arduino. Una sección del diagrama en bloques del firmware se muestra en la Fig. 5, donde se observan las condiciones a cumplirse para que el VTNT realice los movimientos o giros según sea el caso (Fig. 2). La función pulseIn() devuelve el tiempo entre los flancos de subida y bajada de las señales digitales y para procesar las señales PWM [17] de salida del receptor (C2 y C3), las cuales, condicionan los movimientos y los giros del VTNT. Los canales C2 y C3 tienen variaciones dentro de un rango de valores mínimos y máximos de 1120 y 1980 respectivamente de deflexión de los joysticks del radiocontrol y un valor central de 1550 en reposo (Fig. 6). Los valores numéricos de C2 y C3 son adimensionales y preestablecidos por el fabricante del conjunto radiocontrol-receptor.

Tabla 2
Conexiones entre el SMI y el VTNT

Pines del conector del SMI	Señales del SMI	Cableado del VTNT
1	12 V	Salida 12 V de la fuente DC-DC de control
2	12 V	Salida 12 V de la fuente DC-DC de fuerza
3	GND	GND del sistema
4	5 V	Salida de 5 V de la caja controladora
6	Canal libre	Canal sin función habilitada
7	Canal libre	Canal sin función habilitada
8	Canal libre	Canal sin función habilitada
9	Dirección Motor 1	Entrada de selección de marcha del motor izquierdo
10	Dirección Motor 2	Entrada de selección de marcha del motor derecho
11	Freno Motor 1	Entrada del freno derecho
12	Freno Motor 2	Entrada del freno izquierdo
15	Aceleración Motor 1	Entrada de aceleración del motor derecho
16	Aceleración Motor 2	Entrada de aceleración del motor izquierdo

Para convertir los valores de C2 y C3 a valores de 0 a 255 (8 bits), se emplea la función PWM() que contiene en su interior principalmente otra función propia de del IDE Arduino denominada map() que transforma valores de un rango a otro. Con las transformaciones realizadas a 8 bits se pueden suministrar los valores numéricos a las variables Aceleración Motor 1 y/o 2 en dependencia del caso y posteriormente se envían los valores proporcionales de 0 a 5 V de salida con el empleo de la función propia del IDE analogWrite(). Para evitar movimientos indeseados oscilatorios cuando el VTNT se encontrara en reposo producto a ruidos internos del receptor, los cuales eran leídos por el Arduino Uno y presentaban una amplitud de 100 (50 por a arriba y por debajo del valor central) desde el punto de vista numérico de una variable de tipo entero de 16 bits, se implementó en el firmware una alinealidad de zona muerta para los canales C2 y C3 en un rango comprendido entre 1450 y 1650 es decir una diferencia de 100 unidades por arriba y por debajo del valor central (Fig. 6), equivalente al doble del ruido, como se muestra en la Tabla 3. Para evitar que el VTNT continúe su desplazamiento a la deriva al perder las comunicaciones debido a interferencias o por encontrarse en la zona límite de alcance de las comunicaciones, se implementó la seguridad ante fallos en el firmware, que consiste en la detención automática del vehículo ante perdida de las comunicaciones, para lograr esto el vehículo aplica el frenado electrónico y realiza una detención forzada instantemente. En la Tabla 3 se puede observar que en las filas donde existe movimiento, todos los rangos de valores coinciden, es decir que fuera de los valores de zona muerta el vehículo va a moverse con una velocidad proporcional al movimiento del joystick del radiocontrol, pero la diferencia se encuentra en el sentido de marcha del motor. El firmware consume 3556 bytes (11 %) del espacio de almacenamiento total en la memoria flash [18] del microcontrolador Atmega 328P del Arduino UNO.

En la Fig. 6 se puede observar que, al moverse el joystick del radiocontrol (circulo amarillo) hacia arriba o hacia abajo, el movimiento del vehículo no se hace efectivo hasta que no se supere la alinealidad de zona muerta (líneas rojas) que se introdujo en el firmware. Mientras el joystick se encuentre en la zona muerta el vehículo se encontrará detenido, además, la posición de reposo del joystick es 1550, que es el valor centra y se encuentra comprendido en el rango de la alinealidad.

Tabla 3

Rangos de valores de trabajo del VTNT con el SNI

Rangos de valores enteros C2/C3 (adimensionales)	Rangos de PWM (adimensionales)	Rangos de salidas analógicas (V)	Rangos de velocidades (km/h)	Descripción
$1650 < C < 1980$	59 a 255	1.2 a 5	7 a 30	Movimiento en sentido directo
$1450 < C < 1650$	0	0	0	Detenido (zona muerta)
$1120 < C < 1450$	255 a 59	5 a 1.2	30 a 7	Movimiento en sentido inverso

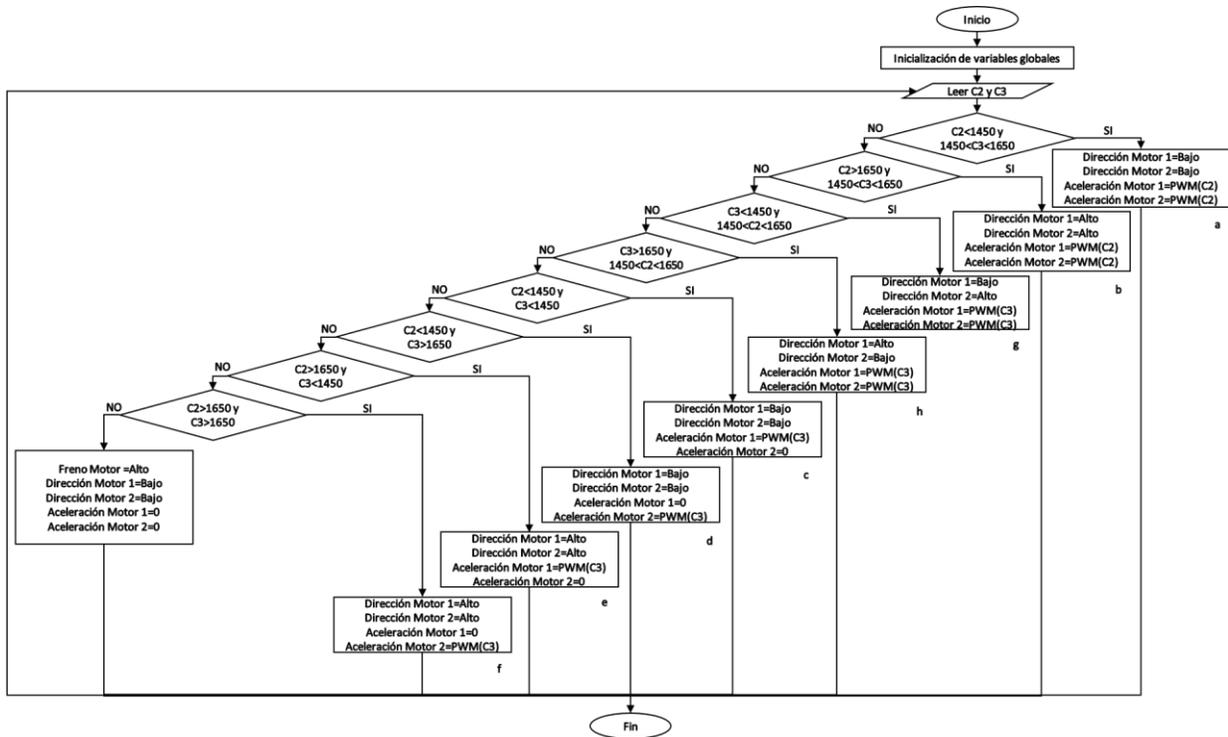


Figura 5

Sección del diagrama en bloques del firmware del Arduino

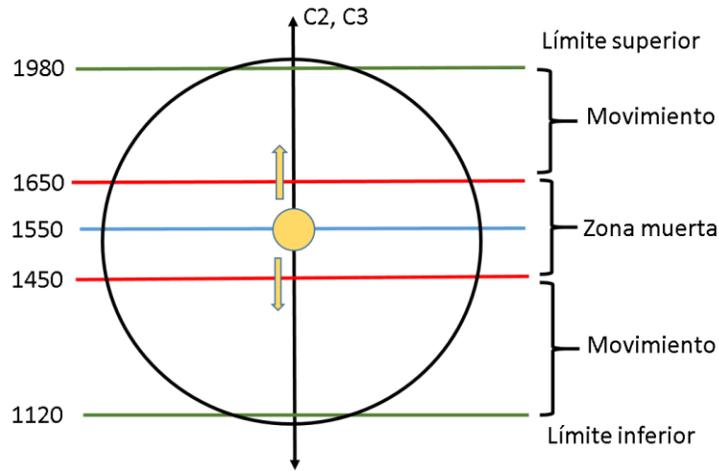


Figura 6

Relación entre los movimientos de los joysticks del radiocontrol y los valores de C2 y C3 del receptor.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó un experimento, para evaluar el gobierno del SMI sobre los actuadores del VTNT a través de las cajas controladoras. La distancia del operador al vehículo fue de 800 m (el vehículo realizó el recorrido gobernado por el operador), la velocidad de ejecución de los movimientos lineales se realizó a 60 km/h, con un peso sobre el VTNT de 1200 kg y se llevó a cabo sobre una superficie de concreto irregular. La duración del experimento fue de 45 min continuos sin apagar el vehículo. Se ejecutaron movimientos lineales, giros estáticos, en movimiento y frenado. Los resultados se reflejaron en la Tabla 4.

Tabla 4
 Resultados del experimento

Pruebas	Mandos del radiocontrol	Movimiento del VTNT
Movimientos lineales < 800 m	Adelante	Marcha adelante
	Centro	Detención
	Atrás	Marcha atrás
Movimientos lineales > 800 m	Adelante	Detención
	Centro	Detención
	Atrás	Detención
Giros estáticos de 360 °	Derecha	Giro estático derecho
	Centro	Detención
	Izquierda	Giro estático izquierdo
Giros en movimiento de 360 °	Derecha	Giro en movimiento derecho
	Centro	Detención
	Izquierda	Giro en movimiento izquierdo

Durante la prueba realizada, se comprobó el correcto funcionamiento de los mandos sobre el VTNT. Durante el tiempo de ejecución del experimento el vehículo no manifestó movimientos indeseados durante el desplazamiento ni en la posición de frenado. Los movimientos angulares del vehículo sobre la superficie de concreto conllevaron a un gasto energético superior, ya que la fricción aumentó y se necesitó mayor potencia para el giro. El frenado del vehículo a pesar de ser brusco fue capaz de evitar el desplazamiento del vehículo en ausencia de mandos ejecutados por el operador. El SMI operó de forma

satisfactoria a 800 m, lo que superó los 300 m reportados en el sistema Colossus [6] y las limitaciones de alcance típicas de tecnologías como WiFi o Bluetooth, menores a 100 m y 10 m respectivamente, debido al empleo del radio control Futaba T10CAG en 2.4 GHz. Se comprobó la seguridad ante fallos al alejar el vehículo a distancias superiores a 800 m y se observó como el vehículo se detenía automáticamente sin manifestar movimientos erráticos ni oscilatorios durante la parada, una vez detenido el VTNT el operador debía acercarse unos metros para adquirir nuevamente la gobernabilidad. A diferencia de sistemas basados en redes celulares (5G/LTE), este diseño no depende de infraestructura externa, lo que lo hace ideal para operaciones en zonas remotas. Las cajas controladoras de los motores imponen restricciones operativas, como la necesidad de detener los motores antes de invertir su dirección. Esto ralentiza las maniobras críticas de cambio de dirección, una desventaja frente a sistemas con motores sin escobillas y controladores de velocidad vectorial.

Se recomienda realizar trabajos futuros en pos de agregarle la capacidad al SMI de gobernar sistemas como pitones monitorizados electrónicos de tres grados de libertad, para en conjunto con el VTNT emplearlo en salvamento, rescate y extinción de incendios. Además, se le pudiera agregar la capacidad de navegar por trayectoria programada incorporándole un GPS, una estrategia de control y una estación de control terrestre. Por último, valorar la posibilidad de montarle cámaras termográfica y en conjunto con la inteligencia artificial, desarrollar sistemas de toma de decisión para combatir incendios.

4.- CONCLUSIONES

En este trabajo se logra obtener el diseño e implementación de un SMI para gobernar de forma inalámbrica dos movimientos y seis giros del VTNT. Se obtuvo un alcance de hasta 800 m de distancia con visibilidad directa entre el receptor y el transmisor. La implementación del SMI para el VTNT es una solución viable, que emplea un reducido número de componentes comerciales. El empleo de un Arduino Uno como plataforma de procesamiento, disminuye el tamaño del sistema y garantiza los recursos de hardware y firmware necesarios para ejecutar las tareas programadas, además, permite ser reprogramado y personalizado para agregar nuevas bondades, lo que ofrece soberanía tecnológica.

REFERENCIAS

1. Munasinghe I, Perera A, Deo RC. A comprehensive review of uav-ugv collaboration: Advancements and challenges. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2024;13(6):81.
2. Rahman MZU, Raza U, Akbar MA, Riaz MT, Gumaei AH, Ahmad N. Radio-controlled intelligent ugv as a spy robot with laser targeting for military purposes. *Axioms*. 2023;12(2):176.
3. Pahlavan K, Krishnamurthy P. Evolution and impact of Wi-Fi technology and applications: A historical perspective. *International Journal of Wireless Information Networks*. 2021;28(1):3-19.
4. Kalanandhini G, Aravind A, Vijayalakshmi G, Gayathri J, Senthilkumar K, editors. Bluetooth technology on IoT using the architecture of Piconet and Scatternet. *AIP Conference Proceedings*; 2022: AIP Publishing LLC.
5. Ahmed S, Alam MK, Dipu MRA, Debnath S, Haque S, Akhter T, editors. A Cost-Effective Unmanned Ground Vehicle (UGV) using swarm robotics technology for surveillance and future combat. *Proceedings of the Fourth International Conference on Trends in Computational and Cognitive Engineering: TCCE 2022*; 2023: Springer.
6. Tanyıldızı AK. Design, Control and Stabilization of a Transformable Wheeled Fire Fighting Robot with a Fire-Extinguishing, Ball-Shooting Turret. *Machines*. 2023;11(4):492.
7. Kargapolova EO, Kuleshov VV, Scuba PY. Assessment of the Use of Robotic Equipment for Extinguishing Fires at Oil Refining Enterprises. *International science and technology conference "Earth science"*; Russian: IOP Publishing Ltd; 2021.
8. Xinhua. Estudiantes cubanos diseñan robot que ayuda a repartir comida entre pacientes de COVID-19 2020 [Available from: <https://www.sinembargo.mx/3807678/estudiantes-cubanos-disenan-robot-que-ayuda-a-repartir-comida-entre-pacientes-de-covid-19/>].
9. Medina AG, García JAP, González IOB. DISEÑO DE PALMICHE UGV: UN ROBOT CUBANO *Euritmia*. 2020;5:62-70.
10. CUBADEBATE. Robot cubano competirá por primera vez en un certamen internacional Cuba2019 [Available from: <http://www.cubadebate.cu/noticias/2019/11/14/robot-cubano-competira-por-primera-vez-en-un-certamen-internacional/>].
11. 10CAG/10CHG/10CG-2.4GHz INSTRUCTION MANUAL. USA: FUTABA; 2009.
12. Alvarez JPV, Lezcano YH, Díaz EGO. Entrenador inalámbrico para pilotos de drones con empleo de computadoras de placa única. *RIELAC*. 2024;45(3).
13. Baballe MA, Bello MI, Ayagi SH, Musa UF. Obstacle Avoidance Robot using an ultrasonic Sensor with Arduino Uno. *Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences*. 2023;3(5).

14. Bahade A, Khonde A, Charduke S, Wele S, Dhoke P. AC PWM Control System in Induction Motor using Microcontroller. International Journal of Advanced Research in Science Communication and Technology. 2024.
15. Ismailov AS, Jo'rayev ZB, Machine A. Study of arduino microcontroller board. Science and Education. 2022;3(3).
16. Borah SS, Sundaravadivel P. A Review of Current Differencing Buffered Amplifiers: Performance Metrics and Technological Advances. Electronics. 2024;13(18).
17. Chatterjee S, Das A. A review on technological aspects of different PWM techniques and its comparison based on different performance parameters. International Journal of Circuit Theory and Applications. 2022;51(5):2446-98.
18. Kim SS, Yong SK, Kim W, Kang S, Park HW, Yoon KJ, et al. Review of Semiconductor Flash Memory Devices for Material and Process Issues. Advanced Materials. 2022;35(43).

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno de los autores manifestó la existencia de posibles conflictos de intereses que debieran ser declarados en relación con este artículo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Juan P. Velis Álvarez: Conceptualización, Investigación, Análisis Formal, Firmware, Validación, Curación de datos, Redacción-borrador original, Supervisión, Validación –Verificación, Metodología, Adquisición de fondos, Administración de proyectos, Recursos, Visualización y Redacción-revisión y edición.

Ernesto G. Ortega Díaz: Conceptualización, Investigación, Análisis Formal, Firmware, Validación –Verificación, Metodología, Administración de proyectos, Visualización y Redacción-revisión y edición.

Deyvy Aguilar García: Investigación, Análisis Formal, Redacción-borrador original, Validación –Verificación, Metodología, Visualización y Redacción-revisión y edición.

AUTORES

Juan P. Velis Álvarez, Ingeniero Radioelectrónico de Aviación ITM “José Martí”, Máster en Automática en la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echevarría”, Aspirante a Investigador, labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica “CID MECATRONICS”, La Habana, Cuba. Email: jpvelis92@hotmail.com, **No. ORCID 0009-0001-8622-6072.**

Ernesto G. Ortega Díaz, Ingeniero Radioelectrónico en Equipos Electroautomáticos de Aviación, ITM “José Martí”, Especialista de III en IID, labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica “CID MECATRONICS”, La Habana, Cuba. Email: ernestogod.2000@gmail.com, **NO. ORCID 0009-0006-6785-9380.**

Deyvy Aguilar García, Ingeniero Radioelectrónico de Aviación ITM “José Martí”, Investigador Agregado, labora en el Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica “CID MECATRONICS”, La Habana, Cuba. Email: deyvyaguilargarcia@gmail.com, **No. ORCID 0009-0009-5514-390X.**



Esta revista se publica bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)