



# Entrenador inalámbrico para pilotos de drones con empleo de computadoras de placa única

*Juan P. Velis Álvarez, Yovanis Herrera Lezcano, Ernesto G. Ortega Díaz.*

## RESUMEN / ABSTRACT

El adiestramiento de pilotos de drones es un desafío creciente debido a la necesidad de mejorar las habilidades de vuelo y reducir los costos. En este trabajo se presenta el desarrollo de un entrenador inalámbrico con el objetivo de lograr un sistema virtual que simule las condiciones de vuelo y facilite el aprendizaje práctico con total seguridad. La solución expuesta combina un radiocontrol Futaba, un receptor de señales PWM, un Arduino Leonardo y un Latte Panda V1.0, conectados a través del protocolo de comunicación serie USB HID. El simulador de vuelo Aerofly RC7 se instala en el sistema operativo de la computadora de placa única, lo que permite a los pilotos adquirir habilidades, exentos de peligro en la manipulación del equipamiento. La innovación de la propuesta radica en la interacción lograda entre recursos tecnológicos económicos y accesibles, con la aplicación de simuladores de vuelo, para obtener una solución viable en la formación de pilotos.

**Palabras claves:** drones, entrenador inalámbrico, Latte Panda, Arduino, computadoras de placa única.

*Drone pilot training is a growing challenge due to the need to improve flight skills and reduce costs. This paper presents the development of a wireless trainer with the objective of achieving a virtual system that simulates flight conditions and facilitates practical learning in complete safety. Exposed solution combines a Futaba remote control, a PWM signal receiver, an Arduino Leonardo, and a Latte Panda V1.0, connected through the USB HID serial communication protocol. Aerofly RC7 flight simulator is installed on the single-board computer operating system, which allows pilots to acquire skills free of danger in handling the equipment. Innovation of the proposal lies in the interaction achieved between economical and accessible technological resources, with the application of flight simulators, to obtain a viable solution in the training of pilots.*

**Keywords:** drones, wireless trainer, Latte Panda, Arduino, single board computers.

## Wireless trainer for drone pilots using single board computers

## 1. –INTRODUCCIÓN

Los simuladores de vuelo han experimentado una transformación notable en las últimas décadas, evolucionando desde herramientas de entrenamiento rudimentarias hasta entornos virtuales sofisticados que cautivan tanto a los entusiastas de la aviación como a los pilotos profesionales. Constantemente se presentan mejoras de los motores de simulación, los cuales crean entornos virtuales más realistas [1].

El empleo de las computadoras de placa única (SBC por sus siglas en inglés) ha marcado pautas en el desarrollo tecnológico

Recibido: 10/2024      Aceptado: 12/2024

por la reducción de dimensiones sin minimizar potencia ni rendimiento de cómputo, así como, el abaratamiento de los precios sin disminuir calidad ni durabilidad [2]. Variados son los modelos existentes, tales como: Raspberry Pi, Beagle Bone, Orange Pi, Arduino, Odroid, Latte Panda, entre otros. Su uso se ha extendido a las áreas de la robótica, domótica, la industria, la medicina, la defensa y la educación.

En [3] se desarrolla un simulador de vuelo basado en software libre, que permite el entrenamiento de tripulaciones. Este sistema utiliza el patrón de diseño Mediator, logrando la distribución de la información entre los distintos modelos de simulación, minimizando la interdependencia, mejorando el mantenimiento, evolución y confiabilidad a través de las pruebas unitarias y de integración. En [4] se diseñó e implementó un conjunto de arquitecturas basado en el sistema de restauración de vista de vuelo. El sistema se adapta a diferentes formatos de datos entre varios tipos de aeronaves, preprocesa los datos eficazmente, se combina con el motor de simulación de vuelo de FlightGear, utiliza el lenguaje de escritura Java Script, para la interacción dinámica web y realiza la observación del estado de vuelo de las aeronaves desde tres aspectos: aeronave; instrumento y trayectoria de vuelo. En [5] se expone el diseño y desarrollo de un simulador basado en interfaz gráfica de usuario con el objetivo de configurar un enjambre de drones, durante la formación de patrones en el cielo. Esta permite a los usuarios dibujar un patrón de su elección en una ventana basada en cuadrícula y el enjambre formará el patrón deseado. La propuesta está diseñada utilizando un marco de trabajo de un sistema operativo en tiempo real y el simulador Gazebo.

En [6] se describe el proceso generalizado de creación de un simulador virtual con un sistema integrado de información geográfica en el modelado de misiones de vuelo de drones, tanto individuales como en grupo. Permite, además, exportar los datos finales con el objetivo de realizar vuelos reales.

En todos los antecedentes citados no se emplean sistemas de mandos inalámbricos (hardware externo) para interactuar con las aeronaves en los simuladores, ni se utilizan SBC.

Sobre el uso de SBC, en [7] se desarrolló un prototipo de sistema de monitoreo de signos vitales basado en SBC, para la adquisición de electrocardiogramas, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y temperatura corporal; sin embargo, no se aprovecha la infraestructura en un simulador de este propio sistema.

En [8] se realizó una implementación híbrida e inteligente de Raspberry Pi modelo 3b+ con Arduino UNO para el manejo de una estación de control terrestre de drones, en esta aplicación se emplearon dos SBC en placas diferentes.

Durante las revisiones bibliográficas realizadas, no se lograron obtener evidencias sobre desarrollos relacionados con entrenadores inalámbricos para pilotos de drones, con el empleo de SBC como plataforma de hardware en sustitución de los medios de cómputo tradicionales.

En la actualidad se ha maximizado el entrenamiento práctico de pilotos de drones mediante software profesionales de simulación de vuelo radiocontrolados como son: Real Flight G6, FS One, Aerofly FS 2, Robo Drone, Flight Gear, Aerofly RC7, entre otros). Estos se instalan previamente en computadoras de escritorio o laptops y se conectan por cable a los radiocontroles, trayendo consigo un costo considerable de inversión en medios de cómputos y la subordinación de la movilidad del piloto a un cable de interfaz generalmente del tipo USB, lo cual constituye un problema.

El objetivo del trabajo es el desarrollo de un entrenador inalámbrico para pilotos de drones, de bajo costo y que promueva el aprendizaje práctico, a través de la integración de tecnologías avanzadas (radiocontroles, receptor de señal PWM y el SBC Latte Panda V1.0), junto con el uso del simulador de vuelo Aerofly RC7.

Las contribuciones fundamentales del trabajo radican en:

- Integración de tecnologías: La combinación de un radiocontrol Futaba; un receptor de señales PWM; un Arduino Leonardo y un SBC Latte Panda V1.0, que demuestra la integración de diversas tecnologías para crear una solución al entrenamiento de pilotos de drones.
- Conexión inalámbrica: La conexión inalámbrica entre estos dispositivos añade comodidad y versatilidad al entrenamiento.
- Empleo de simulador de vuelo: La incorporación del Aerofly RC7 como simulador de vuelo en la solución permite a los pilotos practicar de manera realista y segura sus habilidades de pilotaje en un entorno virtual antes de volar drones reales. Esto ayuda a reducir riesgos y errores durante la capacitación.

El artículo se estructura de forma tal que en la sección 2, se plasma el desarrollo del hardware y firmware del entrenador, así como, la configuración del software y el gasto material de la propuesta; en la sección 3, se evalúan y discuten los resultados obtenidos teniendo en cuenta la funcionalidad del entrenador y la integración de sistemas; por último, se presentan las conclusiones de la investigación realizada.

## 2.-MATERIALES Y MÉTODOS: ENTRENADOR INALÁMBRICO DE VUELO

### 2.1.- HARDWARE DEL ENTRENADOR

El entrenador inalámbrico para pilotos de drones como se aprecia en la Fig. 1, está compuesto por un radiocontrol Futaba T10CAG de 10 canales empleados en enviar los mandos hacia el receptor a través de una radio línea a 2.4 GHz. El receptor Futaba R6014HS recibe y procesa los datos provenientes del radiocontrol y los convierte en señales moduladas por ancho del pulso (PWM por sus siglas en inglés). El SBC Latte Panda V1.0 con ayuda del Arduino Leonardo [9] empotrado en su placa base, procesa las señales PWM [10] del receptor y las transforma al protocolo de comunicación serie USB HID [11], el cual es reconocido por el software profesional de simulación AeroFly RC7 [12], previamente instalado.

Para navegar en la pantalla del sistema, se le incorporó un mouse y un teclado; además de una fuente que se conecta a la red industrial como alimentación al SBC con 5 V DC. La visualización del software se realiza con un dispositivo de proyección de imagen (monitor, televisor, proyector y gafas de realidad aumentada) con puerto HDMI.



Figura 1

Composición del entrenador inalámbrico para pilotos de drones sin periféricos

Los parámetros y características técnicas fundamentales de la propuesta se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1  
Parámetros y características técnicos del entrenador inalámbrico propuesto

| Parámetros           | Descripción                                |
|----------------------|--------------------------------------------|
| Procesador           | Intel Atom x5-z8350                        |
| Microcontrolador     | Atmega 32u4 (Arduino Leonardo)             |
| Periféricos externos | Mouse, teclado, radiocontrol Futaba T10CAG |
| Cantidad de Canales  | 6 habilitados                              |
| Sistema Operativo    | Windows 10                                 |
| Alimentación         | 110 V/ 220V AC, 50 Hz/ 60 Hz               |

El SBC Latte Panda, incluye un Arduino Leonardo, no siendo necesario microcontroladores externos para la lectura de las señales PWM. Este cuenta, además, con hardware integrado de comunicación USB HID [13], permitiendo la compatibilidad con el simulador de vuelo sin software adicionales. Las conexiones eléctricas entre los pines digitales de salida del conector del receptor R6014HS (Fig. 2, izquierda), los pines digitales de entrada del conector del Arduino Leonardo, que se encuentra

en la placa del Latte Panda V1.0 (Fig. 2, derecha) y la configuración de los seis canales del radiocontrol T10CAG se muestran en la Tabla 2.

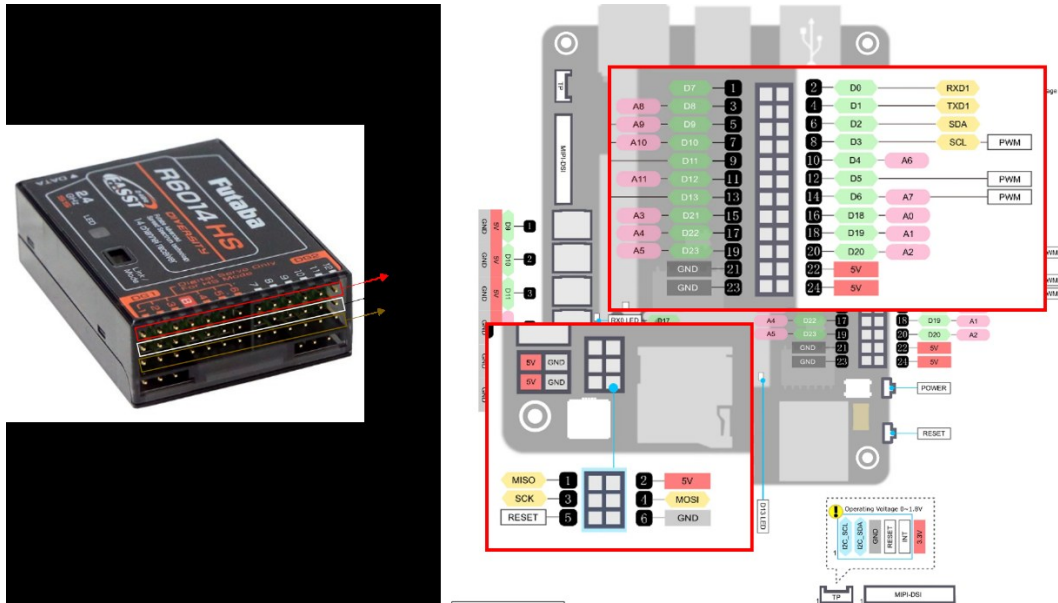


Figura 2

Distribución de pines del Receptor R6014HS (izquierda) y Latte Panda V1.0 (derecha)

Tabla 2  
Conexiones entre los pines de los conectores del receptor, el Latte Panda V1.0 y configuración de los canales del radiocontrol T10CAG

| Radiocontrol T10CAG | Receptor R6014HS | Arduino Leonardo |
|---------------------|------------------|------------------|
| 1 (joystick)        | 1                | 11               |
| 2 (joystick)        | 2                | 10               |
| 3 (joystick)        | 3                | 9                |
| 4 (joystick)        | 4                | 8                |
| 5 (botón)           | 5                | MOSI             |
| 6 (botón)           | 6                | SCLK             |
| -                   | 5V               | 5V               |
| -                   | GND              | GND              |

## 2.2.- FIRMWARE Y SOFTWARE DEL ENTRENADOR

El firmware del entrenador se elaboró en el Ambiente de Desarrollo Integrado (IDE por sus siglas en inglés) Arduino el cual viene instalado en el sistema operativo del Latte Panda V1.0. La conversión del PWM de la salida del receptor a USB HID y su compatibilidad con el simulador de vuelo Aerofly RC7, fue realizada a través del uso de las funciones de la biblioteca C++ [14] de GitHub “wireless-rc-adapter-2.1”, las cuales se modificaron y optimizaron para el trabajo con el Arduino Leonardo. El firmware transformado consume 8392 B (29 %) del espacio de almacenamiento total (28672 B) en la memoria flash del microcontrolador Atmega 32u4.

El software empleado fue el Simulador de Vuelo Aero-fly RC7 [12], instalado en el Sistema Operativo Windows 10 del Latte Panda. Dicho programa permite elegir más de 20 escenarios de vuelos, una variedad superior de 30 aeronaves agrupadas en: aviones de tipo aeroplano; multi rotores; alas volantes; aviones a reacción e hidroaviones. Cuenta además, con tres grupos de escenarios: 4D; multi panorámicos y panorámicos; y admite realizar modificaciones estructurales, aerodinámicas y ambientales para variar las condiciones del ejercicio.

El proceso de configuración de los controles en el simulador de vuelo se realizó respecto al identificador “Arduino Leonardo” y de acuerdo a las normas establecidas por el manual de usuario [12]. En la Fig. 3, se muestra la configuración avanzada de los controles del Aero-fly RC7 para los seis canales. Los cuatro canales analógicos corresponden a los joysticks, mientras que los digitales son los botones de dos y tres posiciones.

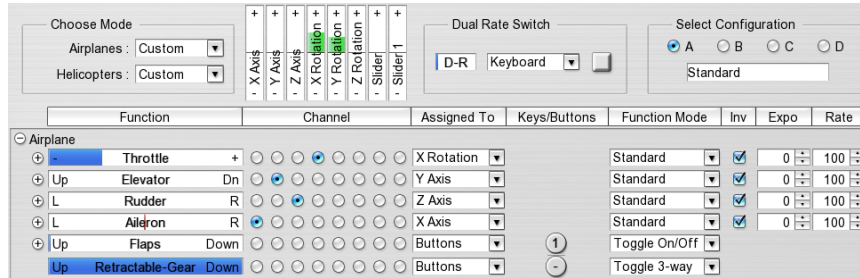


Figura 3

Configuración de los controles del simulador Aero-fly RC7.

## 2.3.- GASTO MATERIAL DEL ENTRENADOR PROPUESTO

En la Tabla 3, se realiza un desglose del gasto material del entrenador propuesto y se compara con el gasto de un simulador de vuelo convencional que emplee una computadora de escritorio.

Nota: Los importes totales se calcularon mediante la sumatoria de los precios de los componentes para cada caso.

Tabla 3  
Desglose de gasto material de un entrenador inalámbrico y un simulador convencional

| Componentes                           | Entrenador Inalámbrico | Simulador convencional | Precio (USD) |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| Radio control Futaba con Receptor     | X                      | X                      | 430.00       |
| Emulador USB                          | -                      | X                      | 283.80       |
| Latte Panda V1                        | X                      | -                      | 165.00       |
| Kit de inicio del Latte Panda V1      | X                      | -                      | 20.90        |
| Computadora de escritorio sin monitor | -                      | X                      | 600.00       |
| Mouse                                 | X                      | X                      | 7.36         |
| Teclado                               | X                      | X                      | 15.63        |
| Importe Total                         | 620.89 USD             | 1336.79 USD            |              |

Como se puede apreciar el costo de la solución propuesta es dos veces menor que el de los simuladores convencionales, dado por la integración del Arduino Leonardo dentro del SBC Latte Panda V1.0, lo cual ha simplificado la conversión de señales PWM a USB HID, reduciendo con ello el número de componentes necesarios.

Es importante destacar que el costo del radiocontrol empleado puede ser disminuido, mediante la elección de modelos alternativos de menor cuantía compatibles en términos de salida PWM.

### 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo del experimento es evaluar la funcionalidad del entrenador diseñado e implementado. En el software de simulación Aerofly RC7 se seleccionó la aeronave Airbus 380, para apreciar fácilmente el movimiento dada sus grandes superficies en los órganos de gobierno y se procedió a realizar movimientos en los joysticks y conmutadores con el fin de observar la respuesta de la aeronave virtual. En la Tabla 4 se reflejan los resultados de los mandos entregados.

**Tabla 4**  
**Movimiento de los órganos de gobierno de la aeronave ante la acción de los mandos del radiocontrol**

| Radiocontrol   |            | Aeronave |    |
|----------------|------------|----------|----|
| Mando          | Movimiento | Si       | No |
| Aceleración    | Acelera    | X        |    |
|                | Desacelera | X        |    |
| Rumbo          | Centro     | X        |    |
|                | Izquierda  | X        |    |
|                | Derecha    | X        |    |
| Banqueo        | Centro     | X        |    |
|                | Izquierda  | X        |    |
|                | Derecha    | X        |    |
| Cabeceo        | Centro     | X        |    |
|                | Arriba     | X        |    |
|                | Abajo      | X        |    |
| Flaps          | Extendidos | X        |    |
|                | Recogidos  | X        |    |
| Tren retráctil | Extendido  | X        |    |
|                | Recogido   | X        |    |

En la Fig. 4, se muestran evidencias visuales del accionamiento sobre los joysticks de los canales de cabeceo y banqueo del radiocontrol y la respuesta de los correspondientes órganos de gobierno de la aeronave (timones de altura y alerones).



**Figura 4**

**Variaciones en el canal de cabeceo de la aeronave (arriba). Variaciones en el canal de banqueo de la aeronave (abajo)**

Los resultados de la implementación del entrenador inalámbrico muestran efectividad en la integración y sincronización entre los componentes utilizados en la propuesta al existir correspondencia total entre las acciones del operador y las respuestas de la aeronave virtual.

## 4.- CONCLUSIONES

El desarrollo del entrenador inalámbrico propuesto constituye una solución que utiliza tecnología comercial y de bajo costo. El sistema ofrece funcionalidad inalámbrica y facilidad para variar las condiciones del ejercicio y tipos de medios, brindando la posibilidad de adquirir destreza, confianza y experiencia en el pilotaje de drones.

Su empleo reduce significativamente los costos de capacitación, permitiendo a un mayor número de personas practicar y perfeccionar habilidades de vuelo de manera segura.

## REFERENCIAS

1. Marron MS T, Captain N, Mac Namee PhD B, O'Hagan PhD AD. Virtual Reality & Pilot Training: Existing Technologies, Challenges & Opportunities. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research*. 2024;33(1):1.
2. Ariza JA, Baez H. Understanding the role of single-board computers in engineering and computer science education: A systematic literature review. *Computer Applications in Engineering Education*. 2022;30:304-29.
3. Monserrat D, caballini v. Simulación de Vuelo Utilizando Integración de Software Libre y Patrones de Diseño. 1er Congreso Sobre Medios de Transporte y sus Tecnologías Asociadas; Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Buenos Aires, Argentina; 2018.
4. Longfei P, Jing L, Yu S, Lu P, Rong S. Design and Implementation of Flight Vision Simulation System Based on Flight Training Data and Flightgear. 2nd International Conference on Big Data Engineering and Education (BDEE); Chengdu, China: IEEE; 2022.
5. Gokulraj K, Manikandan J. Design and development of simulator software for formation flight of drones. 2021 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC); Novi Sad, Serbia: IEEE; 2021.
6. Trefilov P, Kulagin K, Mamchenko M. Developing a Flight Mission Simulator in the Context of UAVs Group Control. 13th International Conference "Management of large-scale system development" (MLSD); Moscow, Russia: IEEE; 2020.
7. Susana E, Handayani IN, Komarudin A. An Implementation of a Single Board Computer as a Home Vital Sign Monitoring System Using a Raspberry-Pi. *International Journal of Electrical, Computer, and Biomedical Engineering*. 2023;1:87-96.
8. Ahmad MM, Ahuja K, Nayyar A. Hybrid Single Board Computer System for Unmanned Ground Vehicle. *Proceedings of the 2022 7th International Conference on Intelligent Information Technology*. 2022:106-12.
9. Yuvaraj D, Bhavani N, editors. Comparison of the Design and Implementation of Smartphone Charging Controllers using Arduino Leonardo and Raspberry Pi. 2024 5th International Conference on Innovative Trends in Information Technology (ICITIIT); 2024: IEEE.
10. 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.
11. Chillara AK, Saxena P, Maiti RR, Gupta M, Kondapalli R, Zhang Z, et al. Deceiving supervised machine learning models via adversarial data poisoning attacks: a case study with USB keyboards. *International Journal of Information Security*. 2024;23(3):2043-61.
12. IKARUS. IKARUS Aerofly RC7. 2015.
13. Zhao S, Zhang M, Liu L, editors. Research on operating system login options from the perspective of HID attack. *International Conference on Signal Processing and Communication Security (ICSPCS 2024)*; 2024: SPIE.
14. Horton J. *Beginning C++ Game Programming: Learn C++ from scratch by building fun games*. 3 ed. Reino Unido: Packt Publishing; 2023.

## 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, Software, Validación, Curación de datos, Redacción-borrador original, Supervisión, Validación –Verificación, Metodología, Adquisición de fondos, Administración de proyectos, Recursos, Visualización y Redacción-revisión y edición.

**Yovanis Herrera Lezcano:** Conceptualización, Investigación, Análisis Formal, Software, Análisis formal, Validación – Verificación, Metodología, Administración de proyectos, Visualización y Redacción-revisión y edición.

**Ernesto G. Ortega Díaz:** Investigación, Análisis Formal, Software, 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 Echeverría”, Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica “CID MECATRONICS”, La Habana, Cuba. Email: [jpvelis92@hotmail.com](mailto:jpvelis92@hotmail.com), **No. ORCID 0009-0001-8622-6072**.

**Yovanis Herrera Lezcano**, Ingeniero Radioelectrónico de Aviación ITM “José Martí”, Máster en Diseño de sistemas microelectrónicos en la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica “CID MECATRONICS”, La Habana, Cuba. Email: [cid3@reduim.cu](mailto:cid3@reduim.cu), **NO. ORCID 0009-0004-3854-4641**.

**Ernesto G. Ortega Díaz**, Ingeniero Radioelectrónico en Equipos Electroautomáticos de Aviación, ITM “José Martí”, Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica “CID MECATRONICS”, La Habana, Cuba. Email: [cid3@reduim.cu](mailto:cid3@reduim.cu), **NO. ORCID 0009-0006-6785-9380**.



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/)