

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey



Implementación de robótica inteligente & Manchester Robotics

Actividad R_7: Control automático y navegación de un VANT

Profesores:

Rigoberto Cerino Jiménez

Integrantes

Daniel Castillo López A01737357

Emmanuel Lechuga Arreola A01736241

Paola Rojas Domínguez A01737136

6 de Junio de 2025

Índice

Índice.....	1
Resumen.....	2
Introducción.....	3
Drones multi-rotos.....	4
Diseño y componentes básicos del VANT.....	4
Principio de funcionamiento.....	5
Sensores más utilizados.....	6
Aplicaciones de este tipo de VANT.....	9
Ventajas.....	9
Desventajas.....	10
Avances tecnológicos y aplicaciones avanzadas.....	10
Consideraciones de diseño para maximizar la eficiencia y el rendimiento de los VANT..	11
Conclusiones.....	13
Referencias.....	14

Resumen

El resumen presenta una síntesis de los aspectos más relevantes del proceso de investigación y desarrollo llevado a cabo.

Este reporte examina el VANT tipo dron multirotor, una aeronave tipo dron de despegue y aterrizaje vertical (VTOL) que utiliza múltiples rotores para sustentación y control. Se detalla su diseño, las configuraciones de tricóptero hasta octocóptero, y sus componentes esenciales como el chasis, motores, hélices, ESCs y control de vuelo. Se explica su principio de funcionamiento basado en el control diferencial de empuje de los rotores y la importancia de sensores como giroscopios, acelerómetros y GPS para la estabilidad y navegación. Lo presentado también cubre una gran parte de las aplicaciones, desde fotografía aérea y agricultura de precisión hasta inspección industrial y búsqueda y rescate. Se mencionan las ventajas y desventajas en base a esta tecnología, así como los avances tecnológicos emergentes como la IA, 5G y enjambres de drones. Finalmente, se presentan consideraciones clave de diseño para maximizar la eficiencia y el rendimiento, incluyendo la relación peso-potencia, la selección de propulsores y la optimización de la controladora de vuelo.

Introducción

La introducción presenta el tema de investigación, proporcionando el contexto necesario para comprender el tema de investigación. Se ofrece una visión general que facilita la construcción de un esquema mental sobre los conceptos y tecnologías que se abordarán en el desarrollo del reporte.

En las últimas décadas, los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), comúnmente conocidos como drones, han trascendido de ser herramientas exclusivas de nichos militares para convertirse en plataformas versátiles con un impacto transformador en diversas industrias y la vida cotidiana. Dentro de la amplia clasificación de los VANT, los drones multirotor, caracterizados por su capacidad de despegue y aterrizaje vertical y su habilidad para flotar y maniobrar con precisión, han emergido como la configuración más popular y adaptable. Su flexibilidad les permite realizar tareas que eran impensables o excesivamente costosas para las aeronaves tripuladas, abriendo nuevas fronteras en campos tan diversos como la agricultura, la inspección de infraestructuras, la fotografía aérea y la logística.

Este reporte de investigación tiene como objetivo proporcionar una comprensión integral de los VANT tipo dron multirotor. Se explorará en detalle su diseño fundamental y los componentes esenciales que los constituyen, se desglosará el principio aerodinámico y electrónico que rige su funcionamiento, y se analizarán los sensores clave que habilitan su vuelo autónomo y estable. Además, se delinearán las principales aplicaciones que han revolucionado gracias a esta tecnología, se mencionan sus ventajas y desventajas, se destacarán los avances tecnológicos más recientes que están moldeando su futuro y, por último, se ofrecerán consideraciones críticas de diseño para optimizar su eficiencia y rendimiento en la próxima generación de estas fascinantes aeronaves.

Drones multi-rotores

Diseño y componentes básicos del VANT.

El vehículo aéreo no tripulado (VANT) tipo dron multirrotor es una aeronave de despegue y aterrizaje vertical (VTOL) que obtiene su sustentación y control mediante el uso de múltiples rotores motorizados. Su diseño se caracteriza por una notable versatilidad, estabilidad y capacidad de maniobra en espacios confinados, lo que lo diferencia de las aeronaves de ala fija

Diseño General:

Los diseños más comunes varían en el número de rotores, afectando directamente su capacidad de carga, redundancia y estabilidad:

- Tricóptero (3 rotores): Requiere un mecanismo de inclinación para uno de los rotores para controlar la guiñada, ofreciendo una construcción más ligera pero con menor redundancia.
- Cuadricóptero (4 rotores): El diseño más prevalente debido a su equilibrio entre simplicidad, estabilidad y eficiencia. Los rotores se disponen típicamente en configuraciones 'X' o '+' para un control óptimo.
- Hexacóptero (6 rotores): Ofrece mayor redundancia (capaz de volar con el fallo de un motor) y una mayor capacidad de carga útil, ideal para aplicaciones profesionales que demandan fiabilidad y peso.
- Octocóptero (8 rotores): Proporciona la máxima redundancia y capacidad de elevación, siendo preferido en entornos industriales y cinematográficos de alta gama donde la potencia y la seguridad son críticas.

Componentes Básicos:

1. Chasis/Estructura (Frame): La estructura principal que aloja y soporta todos los componentes, proporcionando rigidez y protección. Fabricado en su mayoría con fibra de carbono (ligereza, resistencia), aluminio (disipación de calor) o algún material plástico.
2. Motores Eléctricos (Brushless Motors): Motores sin escobillas altamente eficientes que convierten la energía eléctrica en movimiento rotatorio. Se caracterizan por su tamaño y el valor Kv (RPM por voltio), que determina su velocidad y torque.
3. Hélices (Propellers): Elementos aerodinámicos que generan sustentación al empujar el aire. Fabricadas en plástico, fibra de carbono o madera. Se usan en pares contrarrotatorios para anular el torque y mantener la estabilidad. Su tamaño y paso influyen directamente en la sustentación y eficiencia.
4. Controladores Electrónicos de Velocidad (ESCs - Electronic Speed Controllers): Dispositivos que regulan la velocidad de cada motor de forma independiente, interpretando las señales de la controladora de vuelo para asegurar un control preciso y estabilidad.

5. Controladora de Vuelo (FC - Flight Controller): El "cerebro" del dron. Integra un microprocesador, sensores inerciales (giroscopios, acelerómetros), barómetro y, a menudo, magnetómetro y GPS. Ejecuta algoritmos de control para mantener la estabilidad, ejecutar comandos del piloto y realizar funciones autónomas. Ejemplos de firmware incluyen ArduPilot, Betaflight, Cleanflight, y sistemas propietarios de DJI.
6. Batería (Battery): Principalmente de Polímero de Litio (LiPo) debido a su alta densidad de energía y ligereza. Se especifican por su voltaje (número de celdas 'S', ej., 3S, 4S, 6S) y capacidad (mAh), así como su tasa de descarga 'C'.
7. Sistema de Radio Control (RC): Compuesto por un transmisor (control remoto) operado por el piloto y un receptor a bordo del dron, que traduce las entradas del piloto en señales para la controladora de vuelo. Las frecuencias comunes son 2.4 GHz y 900 MHz.
8. Cargador de Baterías: Dispositivo esencial para recargar las baterías LiPo de forma segura y balanceada, prolongando su vida útil.

Principio de funcionamiento.

El principio de funcionamiento de un dron multirotor se basa en la variación individual de la velocidad de giro de sus hélices. A diferencia de los helicópteros que usan un rotor principal y un rotor de cola o un plato cíclico para mantener el control, los multirotores logran todos sus movimientos a través del control diferencial de empuje de sus rotores.

- **Sustentación:** Todos los rotores giran a una velocidad similar y constante (ajustada por los ESCs bajo la dirección de la FC) para generar un empuje combinado que supera el peso del VANT, permitiéndose elevar.
- **Movimiento hacia adelante/atrás (Pitch):** Los rotores delanteros disminuyen su velocidad de giro mientras que los traseros la aumentan (o viceversa), inclinando el VANT hacia adelante o hacia atrás.
- **Movimiento lateral (Roll):** Los rotores de un lado disminuyen su velocidad y los del lado opuesto la aumentan, inclinando el VANT hacia un lado.
- **Giro sobre el eje vertical (Yaw):** Se logra aumentando la velocidad de giro de los rotores que giran en una dirección y disminuyendo la de los que giran en la dirección opuesta. Esto genera un torque neto que hace girar el VANT sobre su propio eje.
- **Descenso/Ascenso:** Para descender, la velocidad de todos los rotores se reduce simultáneamente; para ascender, se aumenta.

La controladora de vuelo monitorea continuamente los datos de los sensores (giroscopio para la orientación, acelerómetro para la inclinación y barómetro para la altitud) y los compara con los comandos del piloto. Si el dron se desvía de la actitud o posición deseada, la FC calcula las correcciones necesarias y envía instrucciones precisas a cada ESC para ajustar la velocidad de los motores, corrigiendo la desviación en milisegundos. Este proceso de retroalimentación constante es lo que confiere a los multirotores su notable estabilidad.

Sensores más utilizados.

En cuanto a los sensores más utilizados para el vuelo autónomo y estable de los drones multirrotor:

- **Giroscopio:** Mide la velocidad angular del dron alrededor de sus tres ejes (cabeceo, alabeo, guiñada) como se muestra en la Figura 1. Es fundamental para detectar y corregir cualquier rotación no deseada y mantener la estabilidad.



Figura 1. Ejes del VANT.

- **Acelerómetro.** (Figura 2). Mide la aceleración lineal del dron en tres dimensiones (Figura 3). Permite determinar la inclinación (pitch y roll) del VANT y ayuda a mantener una actitud nivelada.



Figura 2. Acelerómetro.

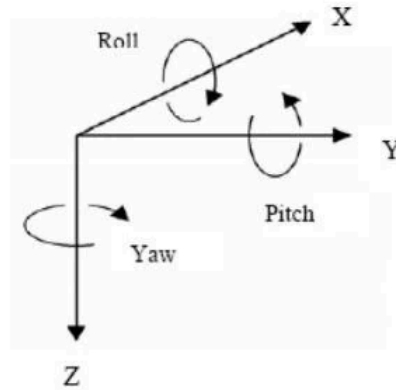


Figura 3. Dimensiones.

- **Barómetro.** (Figura 4). Mide la presión atmosférica, lo que permite a la controladora de vuelo calcular y mantener una altitud constante con precisión.



Figura 4. Barómetro.

- **Magnetómetro (Brújula).** (Figura 5) Mide el campo magnético de la Tierra para determinar la orientación del dron con respecto al norte magnético, lo que es esencial para la navegación y el mantenimiento de la dirección.



Figura 5. Magnetómetro.

- **GPS (Global Positioning System).** (Figura 6) Proporciona la ubicación geográfica precisa del dron. Permite funciones como el "Position Hold" (mantener una posición fija en el espacio), "Return to Home" (regreso automático al punto de despegue) y la navegación por puntos de ruta (waypoints).



Figura 6. GPS.

- **Sensores Ultrasónicos/Láser (Sonar/Lidar Lite).** (Figura 7). Utilizados para medir distancias a objetos cercanos o al suelo, especialmente útiles para el aterrizaje preciso, el vuelo a baja altura y la evitación de obstáculos en distancias cortas.



Figura 7. Sensor ultrasónico.

- **Sensores de Flujo Óptico.** (Figura 8) Cámaras de baja resolución que miden el movimiento del suelo debajo del dron para estimar su velocidad y desplazamiento horizontal sin GPS, ideal para vuelos interiores o con poca señal GPS.

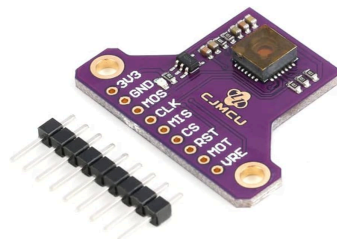


Figura 8. Sensor flujo óptico.

- **Sensores de Visión (Cámaras).** (Figura 9). Utilizadas para la detección y evitación de obstáculos más avanzada, mapeo 3D, reconocimiento de objetos y seguimiento de objetivos en tiempo real.



Figura 9. Cámara.

- **IMU (Inertial Measurement Unit).** (Figura 10) A menudo, el giroscopio y el acelerómetro se combinan en una única unidad IMU, proporcionando datos inerciales completos para el control de vuelo.



Figura 10. IMU.

Aplicaciones de este tipo de VANT.

La gran capacidad de adaptabilidad de los drones multirrotor para varias funcionalidades es muy completa, a continuación algunas aplicaciones:

- Fotografía y Videografía Aérea: Producción cinematográfica, publicidad, eventos, inspección de bienes raíces.
- Inspección y Monitoreo: Permite inspecciones seguras y eficientes de áreas de difícil acceso, como: Infraestructuras críticas (líneas eléctricas, puentes, torres de comunicación), paneles solares, turbinas eólicas, plataformas petrolíferas, cubiertas de edificios.
- Agricultura de Precisión: Monitoreo de cultivos (salud de las plantas, estrés hídrico), fumigación selectiva, conteo de plantas, cartografía de campos, optimización del uso de fertilizantes.
- Seguridad y Vigilancia: Patrullaje de perímetros, búsqueda y rescate (SAR) con cámaras térmicas, monitoreo de multitudes, apoyo a operaciones policiales y militares.
- Entrega de Paquetes: Proyectos piloto y servicios en zonas rurales o de difícil acceso, como entrega de medicamentos o bienes de consumo ligeros.
- Mapeo y Topografía: Generación de modelos 3D, ortomosaicos, nubes de puntos y mapas topográficos para construcción, urbanismo, gestión de recursos naturales y arqueología.
- Construcción: Monitoreo del progreso de obra, inspección de seguridad, cálculo de volumen de materiales, mapeo de sitios.
- Investigación Científica: Monitoreo ambiental, estudio de vida silvestre, muestreo atmosférico, glaciología, vulcanología.
- Entretenimiento y Recreación: Carreras de drones FPV, vuelos recreativos, shows de luces con drones.

Ventajas

Capacidad VTOL: Despegue y aterrizaje vertical, sin necesidad de pistas.

Estabilidad y Precisión: Alta estabilidad en vuelo estacionario (hover) y capacidad de realizar movimientos muy precisos.

Maniobrabilidad: Capaces de operar en espacios confinados y realizar vuelos intrincados.

Seguridad Operacional: Menor riesgo para el personal al inspeccionar áreas peligrosas o de difícil acceso.

Versatilidad: Adaptables a una gran variedad de cargas útiles y aplicaciones.

Costos Operacionales Reducidos: Menor coste en comparación con aeronaves tripuladas para muchas tareas.

Fácil de Aprender: Relativamente más sencillos de operar que los helicópteros tradicionales.

Redundancia (en hexacópteros/octocópteros): Capaces de continuar el vuelo incluso con el fallo de un motor.

Desventajas

Autonomía de Vuelo Limitada: Menor tiempo de vuelo en comparación con los VANT de ala fija, debido al alto consumo energético y poca capacidad de baterías.

Capacidad de Carga Útil Limitada: Aunque ha mejorado, aún es menor que la de aeronaves más grandes.

Sensibilidad al Viento: Su diseño es más susceptible a ráfagas de viento que las aeronaves de ala fija.

Ruido: Los múltiples rotores generan un nivel de ruido significativo.

Costo Inicial: Aunque accesible para modelos recreativos, los sistemas profesionales pueden ser costosos.

Complejidad Normativa: Regulaciones en constante evolución que pueden restringir su uso en ciertas áreas.

Mantenimiento de Baterías: Requiere cuidado específico para las baterías LiPo para maximizar su vida útil y seguridad.

Avances tecnológicos y aplicaciones avanzadas.

La tecnología de los drones multirotor está evolucionando rápidamente, impulsando aplicaciones cada vez más sofisticadas, como por ejemplo:

- Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Automático (ML):
 - Percepción Mejorada: Algoritmos de visión por computadora para reconocimiento de objetos, seguimiento de objetivos y mapeo en tiempo real.

- Navegación Autónoma Avanzada: Capacidad de planificación de rutas óptimas, vuelo autónomo en entornos complejos sin GPS (SLAM - Simultaneous Localization and Mapping).
- Inspección Automatizada: Drones que identifican anomalías (grietas, corrosión) en infraestructuras y generan informes automáticamente.
- Computación en el Borde (Edge Computing): Procesamiento de datos directamente a bordo del dron, reduciendo la latencia y la necesidad de enviar grandes volúmenes de datos a la nube.
- Redes 5G: Mayor ancho de banda y menor latencia para el control de drones a larga distancia y transmisiones de vídeo de alta calidad.
- Sistemas de Carga Inalámbrica y Estaciones de Aterrizaje Autónomas: Permiten que los drones recarguen sus baterías de forma autónoma en estaciones de acoplamiento, extendiendo su tiempo de operación sin intervención humana.
- Enjambres de Drones (Drone Swarms): Múltiples drones operando de forma coordinada para tareas complejas como mapeo rápido de grandes áreas, espectáculos de luces o búsqueda y rescate en equipo.
- Sistemas de Propulsión Híbridos y de Celdas de Combustible: Investigación en sistemas híbridos (batería-gasolina) o de hidrógeno para aumentar significativamente la autonomía de vuelo.
- Drones con Capacidad de Manipulación: Drones equipados con brazos robóticos para realizar tareas como reparación de infraestructuras, muestreo o manipulación de objetos.
- Integración con IoT (Internet de las Cosas): Drones como nodos de IoT, recolectando y transmitiendo datos a una red más amplia.
- Seguridad Cibernética para Drones: Desarrollo de protocolos y medidas para proteger los drones de ataques cibernéticos y garantizar la privacidad de los datos.

Consideraciones de diseño para maximizar la eficiencia y el rendimiento de los VANT.

Para optimizar la eficiencia y el rendimiento de un VANT multimotor, se deben tener en cuenta varios factores críticos durante el diseño, los cuales se presentan a continuación:

1. **Relación Peso-Potencia**: Minimizar el peso total del dron sin comprometer la integridad estructural es fundamental. Cada gramo cuenta para la autonomía de vuelo y la capacidad de carga, por ejemplo el uso de materiales ligeros y resistentes (fibra de carbono) es clave.
2. **Selección Óptima de Motores y Hélices**:
 - Kv del Motor: Un Kv más bajo con hélices grandes y paso alto es generalmente más eficiente para carga pesada y vuelos largos (menos RPM, más torque). Un Kv más alto con hélices pequeñas y paso bajo es mejor para velocidad y agilidad.

- Paso de Hélice: Un paso mayor genera más empuje por rotación pero requiere más potencia. La elección debe equilibrar empuje y eficiencia.
 - Material de la Hélice: Las hélices de fibra de carbono son más rígidas y eficientes, pero más frágiles y costosas que las de plástico.
- 3. Eficiencia Energética (Batería y ESCs):**
- Capacidad de Batería (mAh): Mayor capacidad significa más tiempo de vuelo, pero también más peso. Considerar un equilibrio.
 - Tasa de Descarga (C): Asegurarse de que la batería pueda entregar la corriente necesaria para los motores sin sobrecalentarse.
 - Eficiencia de los ESCs: Los ESCs modernos tienen una alta eficiencia, minimizando la pérdida de energía en forma de calor.
 - Voltaje de Batería (S): Voltajes más altos (más 'S' en la batería) pueden permitir una operación más eficiente con la misma potencia de salida, ya que la corriente necesaria es menor.
- 4. Aerodinámica del Chasis:** Un diseño de chasis más compacto y con menor resistencia al aire contribuye a una mayor eficiencia y estabilidad, especialmente en vuelos rápidos.
- 5. Optimización del Centro de Gravedad (CG):** Un CG bien balanceado (idealmente en el centro exacto de la aeronave) es crucial para la estabilidad y el control, reduciendo la necesidad de que la controladora de vuelo realice constantes correcciones, lo que a su vez ahorra energía.
- 6. Configuración de la Controladora de Vuelo:**
- Algoritmos de Control (PID Tuning): Un ajuste fino de los parámetros PID (Proporcional, Integral, Derivativo) es esencial para una respuesta de vuelo suave, estable y eficiente.
 - Optimización del Firmware: Utilizar un firmware de FC actualizado y optimizado para el hardware específico.
- 7. Diseño de Vibración y Amortiguación:** Minimizar las vibraciones transmitidas a los sensores de la FC mejora la precisión de los datos y, por ende, la estabilidad y eficiencia del vuelo.
- 8. Disipación de Calor:** Asegurar una adecuada disipación de calor para motores, ESCs y otros componentes electrónicos para evitar el sobrecalentamiento y mantener la eficiencia.
- 9. Modularidad y Facilidad de Mantenimiento:** Un diseño modular facilita las reparaciones, las actualizaciones y el reemplazo de componentes, mejorando la vida útil del VANT.

Conclusiones

Por último, en la conclusión se presentan los logros alcanzados en el proceso de investigación realizado. Así como un análisis general del tema investigado.

Los drones multirrotor, o VANT, se han convertido en una tecnología muy versátil y cada vez más presente en distintos sectores. Gracias a su capacidad de despegar y aterrizar verticalmente sin necesidad de pista o puerto aéreo, mantenerse estables en el aire y maniobrar con mucha precisión, son ideales para muchas tareas desde industriales hasta de entretenimiento. Su buen desempeño se debe a la combinación de componentes como motores eficientes, controladores de vuelo avanzados y una gran variedad de sensores.

Aunque todavía enfrentan retos importantes, como el tiempo limitado de vuelo o ciertas restricciones legales, los avances en inteligencia artificial, nuevos sistemas de propulsión y tecnologías de redes están ayudando a superar estas barreras y abrir nuevas posibilidades. Se espera que en el futuro los drones sean más autónomos, más eficientes y capaces de trabajar en entornos más complejos, incluso en conjunto con otros drones o robots. Para lograrlo, será clave seguir mejorando su diseño, optimizando el peso, el tipo de propulsores y ajustando bien sus sistemas de control. En resumen, los drones no solo representan una gran innovación tecnológica, sino que también están transformando la forma en que se realizan muchas tareas en el aire

Referencias

Sabour MH, Jafary P, Nematian S. Applications and classifications of unmanned aerial vehicles: A literature review with focus on multi-rotors. The Aeronautical Journal. 2023;127(1309):466-490. doi:10.1017/aer.2022.75.

Shah, J., Thapa, B. J. K., Shrestha, C. S., & Nepali, S. B. (2022). "The Drone Revolution: A Comprehensive Review of Drone Applications." Journal of Electrical and Electronic Engineering.

Al-Obaidi, M. K. K., & Al-Shamma, J. M. (2024). "The Different Types of Unmanned Aerial Vehicle (UAV): Characteristics, Capabilities, and Challenges." ResearchGate.