



**Tecnológico  
de Monterrey**

**Instituto Tecnológico y de Estudios  
Superiores de Monterrey**

TE3002B.502

**Implementación de robótica Inteligente (Gpo 502)**

Semestre: febrero - junio 2023

**Drones multi-rotores**

**INTEGRANTES:**

Daniel Ruán Aguilar	A01731921
Fredy Yahir Canseco Santos	A01735589
José Angel Ramírez Ramírez	A01735529

Fecha de entrega: 09 de junio del 2023

## **Índice:**

<b>1. Resumen.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Introducción y estado del arte de los VANT.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Diseño y componentes básicos.....</b>	<b>4</b>
<b>4. Principio de funcionamiento.....</b>	<b>7</b>
<b>5. Sensores involucrados.....</b>	<b>7</b>
<b>6. Aplicaciones de este tipo de VANT.....</b>	<b>9</b>
<b>7. Ventajas, desventajas.....</b>	<b>13</b>
<b>8. Avances tecnológicos y aplicaciones avanzadas.....</b>	<b>15</b>
<b>9. Consideraciones de diseño para maximizar la eficiencia y el rendimiento de los VANT.....</b>	<b>16</b>
<b>10. Conclusiones.....</b>	<b>17</b>
<b>11. Bibliografía.....</b>	<b>18</b>

## **1. Resumen**

El reporte se estructurará de la siguiente manera: en primer lugar, se examinarán los componentes esenciales de un dron multi-rotor, incluyendo el marco, la batería, la placa madre, las hélices y los motores. Después de esto, se analizará el principio de funcionamiento de estos dispositivos, centrándose en el sistema de control de vuelo y los sensores clave involucrados en la estabilización y navegación del dron. Además, se destacarán las aplicaciones comunes de los drones multi-rotos, así como sus ventajas y desventajas.

En la segunda parte del reporte, se abordarán los avances tecnológicos y aplicaciones avanzadas relacionadas a los drones multi-rotos, así también como las consideraciones de diseño específicas para maximizar la eficiencia y el rendimiento de los mismos. Estos aspectos incluyen la selección adecuada de motores y hélices, el uso de materiales livianos pero resistentes, el diseño aerodinámico de la estructura, la optimización de los sistemas de propulsión, la gestión eficiente de la energía, la implementación de un sistema de control y estabilidad preciso, la reducción de la resistencia y el diseño eficiente de la carga útil.

## **2. Introducción y estado del arte de los VANT**

Los drones multi-rotos son una forma de vehículos aéreos no tripulados (VANT) utilizados en una amplia gama de aplicaciones. Estos dispositivos son conocidos por su capacidad para realizar vuelos estables y maniobras ágiles, lo que los hace ideales para diversas tareas, desde la captura de imágenes y videografía hasta la inspección de infraestructuras y la entrega de paquetes.

Hablando un poco del estado del arte de este tipo de vehículos, los drones multi-rotor provienen de la tecnología de los helicópteros, estos drones han tenido una serie de hechos históricos y aspectos relevantes que han ido formando lo que hoy en día conocemos como dron (Delgado, 2016). Durante el siglo XX los primeros prototipos de drones multi-rotor fueron desarrollados principalmente con fines militares y de investigación. Los primeros diseños del dron se utilizaron como tiro al blanco para las fuerzas militares. En adición, en el período de la Segunda Guerra Mundial, el avión no tripulado fue hecho para ser una especie de bomba voladora que se enviaba a los enemigos, su diseño se aprecia en la Figura 1 (Delgado, 2016). Estos primeros drones eran pesados, voluminosos, de ala fija y presentaban dificultad en manejarlos.



Figura 1. Avión bomba-dron.

Conforme avanza el tiempo, hubo una expansión en el mercado durante la década de 2010, los drones multi-rotor comenzaron a ser más accesibles para los consumidores y con mejoras notables en términos de autonomía y capacidad para realizar tareas complejas de forma autónoma con ayuda del GPS. Varias empresas empezaron a introducir drones más pequeños y fáciles de volar, equipados con cámaras para capturar fotos y vídeos aéreos, como se ve el ejemplo en la Figura 2. Estos drones se volvieron populares en diversos tipos de aplicaciones que se explicarán a detalle más adelante.



Figura 2. Ejemplo de dron comercial actual.

### 3. Diseño y componentes básicos

Un dron multi-rotor es también conocido con el nombre quadcoptero, debido a las cuatro hélices que lo suelen componer (ver Figura 3). Se caracteriza por ser frágil en los brazos que soportan las hélices para poder elevarse a grandes alturas.

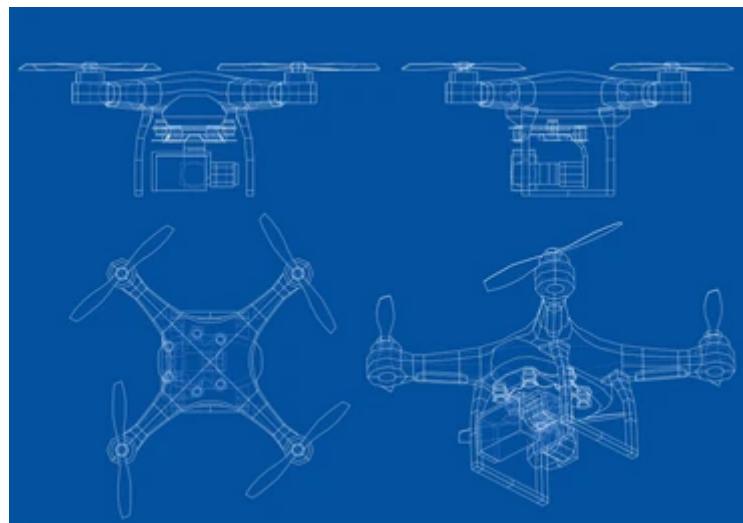


Figura 3. Planos del dron.

Generalmente están conformados por los siguientes elementos, los cuales también se aprecian en Figura 4.

Componente	Descripción	Elementos visuales
<b>Marco</b>	Es la estructura principal del dron, que sostiene todos los componentes juntos. Puede estar construido de materiales como fibra de carbono, aluminio o plástico resistente (Droning, 2014).	
<b>Batería</b>	El dron multi-rotor se alimenta de una batería recargable que suministra energía a los motores y otros componentes electrónicos (Droning, 2014).	

<b>Placa madre</b>	Es el cerebro electrónico del Dron, que contiene los controladores de vuelo, los cuales son los dispositivos electrónicos que gestionan y estabilizan el vuelo del dron. Registra la información proveniente del mando.	
<b>Hélices</b>	También conocido como rotores, son las hélices que generan el empuje necesario para mantener el dron en el aire. Un dron multi-rotor típico tiene cuatro rotores, aunque también existen diseños con seis o más (Droning, 2014).	
<b>Motores</b>	Son los responsables de generar la fuerza de impulsión para que el dron se eleve. Se encuentran en los brazos del dron, los cuales cada uno contiene un regulador. Cada rotor está conectado a un motor eléctrico que proporciona la potencia para hacerlo girar (Droning, 2014).	

Tabla 1. Componentes de un dron.

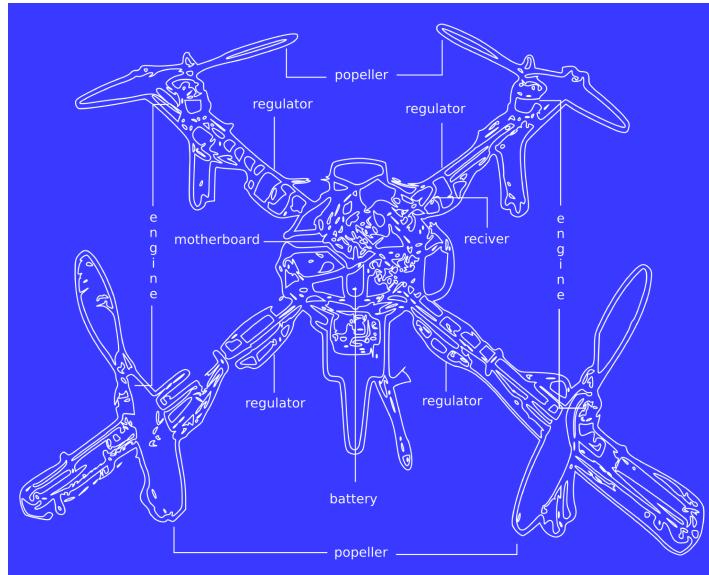


Figura 4. Partes de un dron.

#### 4. Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de un dron multi-rotor se basa en la generación de sustentación mediante múltiples rotores y en el control de la velocidad de rotación de cada uno para lograr el vuelo controlado, el control del dron se logra mediante un sistema de control de vuelo que procesa las entradas del piloto o los comandos autónomos y ajusta automáticamente las velocidades de rotación de los rotores. Esto permite al dron moverse en diferentes direcciones, mantener la estabilidad y realizar diversas tareas tanto en vuelo manual como en vuelo autónomo.

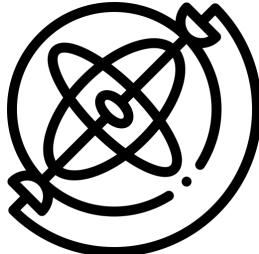
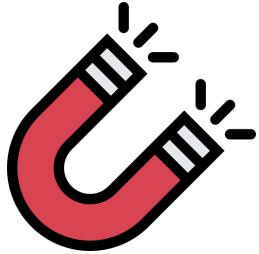
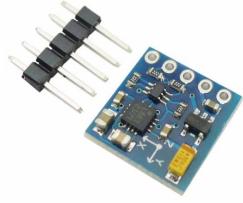
Generalmente se emplea en este tipo de mecanismos físicos un controlador PD (Proporcional Derivativo). En el caso del dron, busca estar nivelado usando las cuatro hélices que lo conforman, cuando una ráfaga de viento lo mueve hacia un lado o se busque mantener al dron en la misma posición, el controlador PD mide la diferencia entre el ángulo de inclinación actual del dron y su ángulo de balanceo ideal, es decir, cero (Guerra Quiñones, 2018), que en este caso en específico se puede medir con el giroscopio, un sensor que se abordará más adelante.

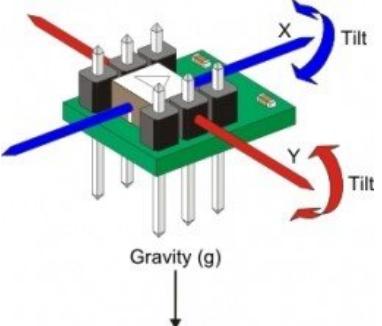
La función del controlador PD anticipa el error y actúa en función a lo que va a ocurrir, la acción derivativa adelanta algún cambio y reacciona rápidamente para asegurar la estabilidad en el dron, y sin sobrepasar la posición deseada con algún sobretiro (Guerra Quiñones, 2018).

Con el error generado, se determina la acción para enviar a los actuadores del dron, que en este caso se trata de los motores que modificarán la potencia en cada una de las cuatro hélices.

## 5. Sensores involucrados

Existen algunos sensores esenciales para un funcionamiento óptimo del dron sin presentar fallas.

Sensor	Descripción	Elementos visuales
<b>Giroscopio</b>	Mide la velocidad angular. Indica la orientación y estabilidad del dron.	 
<b>Magnetómetro</b>	Detecta el campo magnético terrestre y se utiliza para determinar la orientación absoluta del dron con respecto al norte magnético. Ayuda en la navegación y la estabilización.	 

<b>Acelerómetro</b>	Mide la aceleración lineal del dron en cada eje (x, y, z).	
<b>Barómetro</b>	Mide la presión atmosférica y se utiliza para estimar la altitud del dron.	
<b>Sensor de ultrasonido</b>	Utiliza ondas ultrasónicas para medir la distancia entre el dron y el suelo u otros objetos cercanos.	
<b>GPS</b>	Se encuentra conectado al cerebro del dron y le permite conocer la ubicación (coordenadas), altitud y velocidad exactas del multi-rotor (Droning, 2014).	
<b>Cámara</b>	A los drones se puede incluir una cámara para analizar el vuelo y capturar fotos o videos desde el aire. Ya dependiendo el tamaño del dron, se podría acoplar una cámara pesada profesional o una ligera	

	cámara de acción (Droning, 2014).	
<b>Gimbal</b>	<p>El sensor gimbal utiliza una combinación de acelerómetros, giroscopios y magnetómetros para detectar los movimientos y cambios de orientación del dron.</p> <p>Estos sensores miden las aceleraciones lineales, las velocidades angulares y los campos magnéticos para determinar la actitud y posición del dron en el espacio, ayuda a estabilizar la cámara y usa lo mejor de los sensores previamente mencionados.</p>	

Tabla 2. Sensores involucrados.

## 6. Aplicaciones de este tipo de VANT

Este tipo de drones tienen una amplia gama de aplicaciones en diversos campos. A continuación, se presentan algunas de las principales aplicaciones de los drones multi-rotores:

1. Fotografía y cinematografía: Han revolucionado la industria de la fotografía y el cine al ofrecer tomas aéreas únicas y de alta calidad, tal como se ve en la Figura 5. Estos dispositivos permiten capturar imágenes impresionantes desde ángulos y alturas que antes solo eran posibles con costosos equipos aéreos .



Figura 5. Dron en Fotografía y videografía.

2. Inspecciones industriales: Los drones son utilizados para realizar inspecciones en diferentes sectores industriales, como energía, construcción, petróleo y gas. Gracias a su capacidad para acceder a áreas de difícil acceso, los drones permiten inspeccionar estructuras como torres de telecomunicaciones, líneas de transmisión eléctrica y puentes, proporcionando imágenes detalladas y reduciendo los riesgos asociados con las inspecciones humanas (Ver Figura 6).



Figura 6. Dron en inspección industrial.

3. Agricultura de precisión: La agricultura de precisión se beneficia enormemente del uso de drones multi-rotores equipados con cámaras y sensores. Estos drones pueden sobrevolar los cultivos y recopilar datos sobre la salud de las plantas, la humedad del suelo, la temperatura y otros factores relevantes. Esta información permite a los agricultores tomar decisiones basadas en datos para optimizar la gestión agrícola, mejorar la productividad y reducir el uso de recursos (ver Fig. 7).



Figura 7. Dron en Agricultura.

4. Entrega de paquetes: Empresas de logística y comercio electrónico están explorando el uso de drones para la entrega de paquetes pequeños en áreas urbanas. Los drones pueden transportar rápidamente los paquetes desde un punto de origen a un destino designado, agilizando los tiempos de entrega y reduciendo los costos logísticos asociados con el transporte terrestre (Ver Figura 8).



Figura 8. Dron en entrega de paquetes.

5. Búsqueda y rescate: Los drones son herramientas valiosas en operaciones de búsqueda y rescate. Gracias a su capacidad para llegar a áreas remotas y de difícil acceso, los drones pueden proporcionar imágenes en tiempo real y ayudar a localizar a personas desaparecidas o en peligro. Esto permite a los equipos de rescate coordinar mejor sus esfuerzos y tomar decisiones informadas (Ver Figura 9).



Figura 9. Dron en búsqueda y rescate.

6. Vigilancia y seguridad: Los drones son utilizados ampliamente en aplicaciones de vigilancia y seguridad. Pueden monitorear áreas extensas, como fronteras o instalaciones industriales, proporcionando una visión aérea y ayudando a detectar actividades sospechosas o situaciones de riesgo. Además, los drones pueden ser equipados con tecnología de detección y seguimiento para mejorar aún más la seguridad (Ver Figura 10).



Figura 10. Dron en seguridad.

7. Mapeo y topografía: Los drones son herramientas eficientes para el mapeo y la topografía. Pueden cartografiar áreas extensas de terreno y generar modelos tridimensionales precisos. Esta información es valiosa en la planificación urbana, la gestión de recursos naturales y la construcción de infraestructuras (Ver Figura 11).



Figura 11. Dron en mapeo y topografía.

8. Investigación científica: Los drones multi-rotores son utilizados por investigadores en diversos campos científicos. Pueden recopilar datos sobre la ecología, la geología, la meteorología y otros aspectos ambientales. Estos datos ayudan a los investigadores a comprender mejor el entorno natural y realizar estudios más detallados y eficientes (Ver Figura 12).



Figura 12. Dron en investigación científica

Estas son solo algunas de las muchas aplicaciones de los drones multi-rotores. Su versatilidad y capacidad de adaptación los convierten en herramientas cada vez más utilizadas en una amplia gama de industrias y sectores, como se ve el incremento en la Gráfica 1.

9. Publicidad aérea: Se utilizan para llevar a cabo publicidad aérea, mostrando mensajes promocionales en el aire de forma creativa y llamativa. Esto permite llegar a una amplia audiencia y captar la atención de las personas de manera efectiva.



Gráfica 1. Usos frecuentes de drones (AESA, 2018).

## 7. Ventajas y desventajas de los drones multi-rotores

Como la mayoría de las tecnologías, los drones también tienen una serie de ventajas y desventajas, como se muestra a continuación:

### Ventajas:

1. Acceso a áreas de difícil acceso: Los drones multi-rotores pueden llegar a lugares remotos o de difícil acceso, como áreas montañosas o accidentadas, proporcionando imágenes y datos precisos sin poner en peligro la seguridad de las personas.
2. Eficiencia y productividad: Estos drones son capaces de llevar a cabo tareas de manera más rápida y eficiente que los métodos tradicionales. Por ejemplo, en la agricultura de precisión, los drones pueden recopilar datos sobre los cultivos y optimizar la gestión agrícola, lo que conduce a una mayor productividad y ahorro de recursos.
3. Costos reducidos: Los drones multi-rotores ofrecen una alternativa rentable en comparación con las aeronaves tripuladas o métodos de inspección convencionales. La utilización de drones para inspecciones industriales, vigilancia o entrega de paquetes puede reducir significativamente los costos operativos.
4. Seguridad mejorada: En aplicaciones de vigilancia y seguridad, los drones pueden proporcionar una visión en tiempo real de áreas extensas, ayudando a detectar actividades sospechosas o situaciones de riesgo. Esto mejora la seguridad al brindar una mayor conciencia situacional.

- Versatilidad y adaptabilidad: Los drones multi-rotores son altamente versátiles y se pueden equipar con una variedad de cámaras, sensores y herramientas especializadas según la aplicación requerida. Esto los hace adecuados para una amplia gama de industrias y sectores.

Desventajas:

- Limitaciones de autonomía: Los drones multi-rotores tienen una duración limitada de la batería, lo que restringe su tiempo de vuelo. Esto puede limitar las operaciones continuas y requerir tiempos de carga o cambios de batería frecuentes.
- Riesgo de colisiones: El aumento en el número de drones en el espacio aéreo plantea el riesgo de colisiones entre drones y con aviones tripulados. La regulación y el cumplimiento de las normas de seguridad son fundamentales para mitigar este riesgo.
- Dependencia de las condiciones climáticas: Las condiciones meteorológicas adversas, como fuertes vientos o lluvias, pueden afectar la estabilidad y el rendimiento de los drones multi-rotores. Esto puede limitar su uso en ciertas circunstancias.
- Privacidad y seguridad de datos: Existe preocupación por la privacidad y seguridad de los datos recopilados por los drones. La utilización de cámaras y sensores puede plantear inquietudes en términos de invasión de la privacidad y el uso inapropiado de la información recopilada.

Ventajas	Desventajas
Acceso a áreas remotas	Limitaciones de autonomía
Mayor eficiencia	Riesgo de colisión
Costos reducidos	Dependencia climática
Seguridad mejorada	Privacidad y seguridad de datos
Versatilidad y adaptabilidad	

Tabla 3. Tabla comparativa ventajas y desventajas de los drones.

## 8. Avances tecnológicos y aplicaciones avanzadas.

Gracias a los avances tecnológicos recientes, los drones han alcanzado un nuevo nivel de sofisticación y se han abierto a una amplia gama de aplicaciones. Estos avances incluyen

sensores avanzados, mayor duración de la batería, sofisticados sistemas de navegación y el uso de inteligencia artificial.

En cuanto a la tecnología actual, los drones son utilizados en diversas aplicaciones, como búsqueda y rescate, observación del clima, agricultura de precisión y entrega de suministros médicos de emergencia. La miniaturización de los dispositivos informáticos y de comunicación, así como las mejoras en la tecnología de las baterías, han impulsado el desarrollo de los drones. También se han beneficiado de avances en la ciencia de materiales, como la fibra de carbono, lo que ha permitido que los drones sean más pequeños, ligeros y duraderos. La inteligencia artificial, especialmente el aprendizaje automático y la visión por computadora, ha mejorado la autonomía de los drones, permitiéndoles realizar tareas complejas sin intervención humana.

Las aplicaciones potenciales de los drones son diversas y se siguen explorando. Por ejemplo, podrían revolucionar los viajes y el turismo al permitir a las personas visitar lugares remotos sin la necesidad de viajar largas distancias. Además, podrían utilizarse en el transporte de personas y bienes en entornos urbanos, reduciendo la dependencia de los automóviles y otros medios de transporte convencionales. En términos de vigilancia, los drones son capaces de monitorear áreas de difícil acceso, como cuerpos de agua extensos o bosques, lo que permite recopilar datos valiosos. También se utilizan para la seguridad fronteriza y la lucha contra la caza furtiva de vida silvestre.

En el ámbito de la salud, los drones pueden ser utilizados para la entrega de suministros médicos en áreas remotas o de difícil acceso, como vacunas y otros medicamentos. Asimismo, se pueden emplear en el monitoreo ambiental para evaluar la salud de ecosistemas, identificar áreas de protección y estudiar la vida silvestre. (Reelectronity, 2021)

En el ámbito de la construcción, los drones multi-rotores equipados con algoritmos y sensores avanzados pueden realizar tareas de construcción como levantamiento topográfico, colocación precisa de materiales y monitoreo de progreso. Esto ofrece ventajas como reducción de costos, mayor seguridad, mayor velocidad de construcción y capacidad de trabajo en áreas de difícil acceso. Aunque aún está en desarrollo, la construcción con drones tiene el potencial de transformar la industria de la construcción.

Finalmente, los avances en inteligencia artificial han permitido desarrollar drones autónomos capaces de navegar en entornos complejos sin intervención humana, lo que amplía aún más sus capacidades

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

Al momento de diseñar los drones multi-rotores debemos de tener en cuenta varios aspectos que son fundamentales para maximizar el rendimiento de esta clase de VANT, entre los aspectos más importantes a considerar tenemos los siguientes:

**Selección de motores y hélices:** Elegir los motores y hélices adecuados es fundamental para optimizar la eficiencia y el rendimiento del dron. Es importante considerar la relación empuje-peso y la eficiencia específica de los motores, así como la combinación adecuada de hélices para maximizar la eficiencia aerodinámica.

**Peso y materiales:** Reducir el peso del dron es esencial para mejorar su eficiencia. Utilizar materiales livianos pero resistentes en la estructura y los componentes puede ayudar a reducir la carga y aumentar la autonomía del vuelo.

**Aerodinámica:** Diseñar una estructura aerodinámica y de bajo arrastre puede mejorar significativamente el rendimiento del dron. La forma del cuerpo, los brazos y otros componentes deben optimizarse para minimizar la resistencia al aire y maximizar la eficiencia del vuelo (Ver Figura 13).

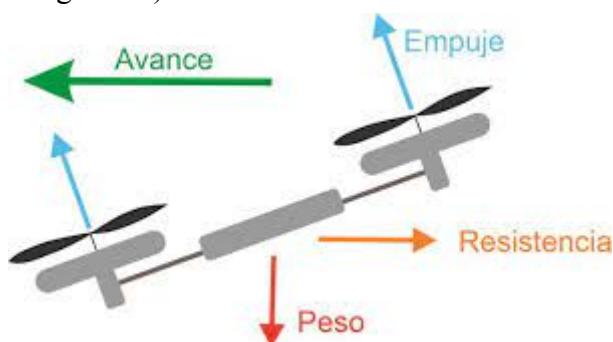


Figura 13. Diagrama de aerodinámica en dron multi-rotor

**Sistemas de propulsión eficientes:** Además de los motores y hélices, otros sistemas de propulsión, como los controladores electrónicos de velocidad (ESC, por sus siglas en inglés), también pueden influir en la eficiencia y el rendimiento del dron. Elegir ESC de alta calidad y configurarlos correctamente puede ayudar a reducir la pérdida de energía y mejorar la eficiencia general del sistema.

**Gestión de energía:** Optimizar la gestión de energía es crucial para maximizar la autonomía del dron. Utilizar baterías de alta capacidad y eficiencia, implementar sistemas de gestión de energía eficientes y controlar la carga y descarga de la batería de manera óptima son aspectos importantes a considerar.

**Sistema de control y estabilidad:** Un sistema de control y estabilidad preciso y confiable puede mejorar la eficiencia y el rendimiento del dron. La elección de un controlador de vuelo

adecuado y la implementación de algoritmos de control avanzados pueden ayudar a optimizar la respuesta al detectar obstáculos cercanos y la estabilidad del dron (Ver Figura 14).

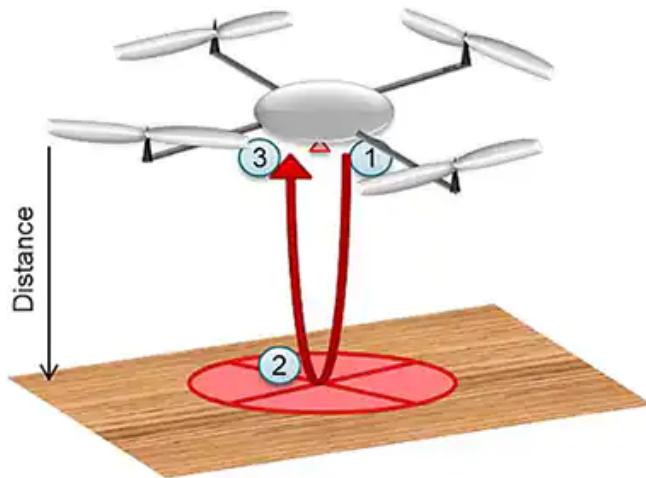


Figura 14. Diagrama de control de proximidad en un dron multi-rotor

**Reducción de la resistencia:** Además de la aerodinámica, hay otros elementos que pueden contribuir a la resistencia del dron, como cables desordenados, componentes sobresalientes y mal posicionados, o incluso sensores y cámaras mal ubicados. Es importante diseñar el dron de manera que se reduzca al mínimo la resistencia adicional.

**Diseño de carga útil eficiente:** Si el dron lleva una carga útil, como cámaras u otros equipos, es importante diseñar y ubicar la carga útil de manera eficiente para minimizar su impacto en la eficiencia y el rendimiento del dron. Esto puede incluir la consideración de la distribución del peso, la ubicación óptima para reducir el arrastre y el uso de sistemas de montaje estables y ligeros.

## 10. Conclusiones

Durante el proceso de investigación realizado concluimos que gracias a la capacidad de despegue y aterrizaje vertical, maniobrabilidad y estabilidad en vuelo estacionario de los drones multi-rotor, han demostrado ser una herramienta versátil y valiosa en una amplia gama de aplicaciones. Su importancia radica en su capacidad para realizar tareas precisas y controladas en entornos cercanos, urbanos o confinados, como por ejemplo, han permitido acceder a lugares remotos o peligrosos de manera segura y eficiente, brindando una perspectiva aérea única y capturando datos precisos para análisis y toma de decisiones. Su tamaño compacto y facilidad de despliegue los hacen especialmente útiles en operaciones rápidas y ágiles, lo que resulta en ahorro de tiempo y costos. Cabe mencionar que los drones de ala fija también son valiosos en ciertos escenarios, como la cobertura de áreas extensas y las misiones de larga duración, sin embargo, su diseño y configuración los hacen menos adecuados para operaciones cercanas y precisas, a diferencia de los multi-rotor. La elección

del tipo de dron para una aplicación eficiente y confiable dependerá de las necesidades específicas de la aplicación y las condiciones planteadas.

## 11. Bibliografía

- AESA. (2018). *Agencia Estatal de Seguridad Aérea*. Seguridadaerea.gob.es. Retrieved on jun, 2023 from: <https://www.seguridadaerea.gob.es/es>
- Delgado, V. (2016). *Historia de los drones*. eldrone.es. Retrieved on jun, 2023 from: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>
- Droning.(2014). *¿QUÉ PARTES COMPONEN UN DRONE multi-rotor?*. Wordpress.com. Retrieved on jun, 2023 from: <https://droningpage.wordpress.com/2014/10/19/que-partes-componen-un-drone-multi-rotor/>
- Guerra Quiñones, J.D. (2018). *Control de actitud de un cuadricóptero*. Universidad Politécnica de Valencia - Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño. Máster Universitario en Ingeniería Mecatrónica. Retrieved on jun, 2023 from: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/111029/GUERRA%20-%20Control%20de%20actitud%20de%20un%20cuadricoptero.pdf>
- IDC. (S.F.). *Drones multi-rotores vs drones de ala fija*. Recuperado de <https://idc.apddrones.com/drones/drones-multi-rotor-vs-ala-fija/>
- Reelectrivity. (2021). *Exploración de los avances recientes en la tecnología de drones y sus aplicaciones potenciales*. Recuperado el 8 de junio de 2023, de <https://reelectrivity.com/es/exploraci%C3%B3n-de-los-avances-recientes-en-la-tecnolog%C3%ADA-de-drones-y-sus-posibles-aplicaciones/>