

**Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) Para La Digitalización De Información En
Ingeniería Civil**

Miguel Angel Jiménez Plazas

Monografía Para Optar Por El Título De Ingeniero Civil

Universidad De Pamplona

Facultas De Ingeniería Y Arquitectura

Programa De Ingeniería Civil

Pamplona, Norte De Santander, Colombia

2024

**Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) Para La Digitalización De Información En
Ingeniería Civil**

Miguel Angel Jiménez Plazas

Monografía Para Optar Por El Título De Ingeniero Civil

Director

Msc. Diego Iván Sánchez Tapiero

Universidad De Pamplona

Facultad De Ingeniería Y Arquitectura

Programa De Ingeniería Civil

Pamplona. Norte De Santander, Colombia

2024

Tabla De Contenido

Introducción	10
Capítulo 1.....	11
Presentación de los vehículos aéreos no tripulados	11
1.1 Definición.....	11
1.2 Características Generales de los UAV	12
1.2.1 Ausencia de piloto y control remoto	13
1.2.1.1 Transmisor y receptor de radio.	13
1.2.2 Tamaños y Configuraciones	14
1.2.3 Sistemas De Propulsión	14
1.2.4 Capacidades De Vuelo Autónomo	15
1.2.5 Sensores	15
1.2.5.1 Receptor GPS.....	16
1.2.5.2 Acelerómetros.	17
1.2.5.3 Giroscopios.	17
1.2.5.4 Barómetros.....	17
1.2.5.5 Sensores pancromáticos.	17
1.2.5.6 Sensores multiespectrales.	18
1.2.5.7 Sensores hiperespectrales.....	19
1.2.6 Conectividad y transmisión de datos en tiempo real	21
1.2.6.1 Telemetría.	21
1.2.7 Flexibilidad y adaptabilidad	21

1.3 Tipología de los drones	22
1.3.1 Ala fija	22
1.3.2 Multirrotor	23
1.3.3 Híbrido.....	24
1.4 Resumen histórico del desarrollo de los UAV	25
1.5 Clasificación Normativa de vehículos aéreos no tripulados según tamaño, peso y capacidades.....	36
1.5.1 Categoría Abierta.....	37
1.5.2 Categoría Específica	38
1.5.3 Categoría Certificada.....	38
1.6 Zonas Geo	38
Capítulo 2.....	40
Vehículos Aéreos No Tripulados Aplicados A La Ingeniería.....	40
2.1 Clasificación según uso o aplicación	40
2.1.1 UAV objetivo y señuelo	41
2.1.2 Reconocimiento	42
2.1.2.1 Búsqueda y Rescate	43
2.1.3 Combate.....	44
2.1.3.1 Casos específicos del uso de UAV de combate	44
2.1.4 Logística	45
2.1.5 Investigación y desarrollo.....	48

2.1.6 Aplicaciones civiles y comerciales	48
2.1.6.1 Civiles	49
2.1.6.2 Comerciales.....	50
2.2 Vehículos Aéreos no tripulados que se encuentran en el mercado	52
Capítulo 3.....	56
Aplicaciones en Ingeniería de los vehículos aéreos no tripulados	56
3.1 Fotogrametría	56
3.2 Modelados en 3D	58
3.3 Seguimiento de obras	59
3.3.1 Inspección de infraestructura.....	60
3.3.2 Recopilación de datos y documentación	61
3.4 Defensa y seguridad	61
3.4.1 Vigilancia y monitoreo	61
3.4.2 Gestión de emergencias	61
3.4.3 Control de acceso y perímetro	62
3.5 Monitoreo ambiental	62
3.5.1 Calidad del Aire.....	62
3.5.2 Calidad del Agua	62
3.5.3 Deforestación y la Cobertura Forestal	63
3.5.4 Vida Silvestre	63
3.5.5 Desastres Naturales.....	63

3.6 Inspección de infraestructuras	63
3.6.1 Planificación y Preparación	63
3.6.2 Ejecución de la Inspección	64
3.6.3 Análisis y Post Procesamiento.....	64
3.6.4 Tipos de infraestructuras que se pueden inspeccionar con drones	65
3.7 Agricultura de precisión	65
3.7.1 Monitoreo del estado del cultivo	66
3.7.2 Optimización del riego	67
3.7.3 Manejo de plagas y enfermedades.....	67
3.7.4 Estimación del rendimiento	68
3.8 Fotografía y filmación aérea	68
Capítulo 4.....	69
Digitalización de Información UAV para la Ingeniería Civil	69
4.1 Datos capturados por drones	69
4.1.1 Imágenes	69
4.1.1.1 Ortomosaicos	70
4.1.1.2 Modelos Digitales de Elevación	72
4.1.1.3 Modelos 3D.....	72
4.1.1.4 Análisis de Textura	72
4.1.2 Vídeos.....	74
4.1.2.1 Inspecciones.....	74

4.1.2.2 Monitoreo.....	75
4.1.2.3 Análisis de Movimiento	75
4.1.3 Datos de Sensores	75
4.1.3.1 LiDAR (Light Detection and Ranging).	75
4.1.3.2 Datos Multiespectrales.....	76
4.1.3.3 Termocámaras	76
4.1.3.4 GNSS (Global Navigation Satellite System).	76
4.2 Programas para modificar la información digital.....	77
4.2.1 Software de fotogrametría	77
4.2.2 Software CAD	78
4.2.3 Software GIS	79
4.3 Aplicaciones de la información digital.....	79
4.3.1 Ortofotografía, Modelos de Elevación y modelos 3D	79
4.3.1.1 Cartografía Catastral y Planificación Urbana.	80
4.3.1.2 Geología.....	81
4.3.1.3 Detección de Daños en infraestructuras.....	83
4.3.1.4 Evaluación del Estado.....	84
4.3.1.5 Inspección de Infraestructura y Planificación de Mantenimiento.....	86
4.3.1.6 Vías.	90
4.3.1.7 Seguimiento de Obras.	91
Análisis Y Discusión.....	93
Conclusiones	95
Referencias Bibliográficas	97

Tabla De Figuras

Figura 1 <i>Multiespectral</i>	19
Figura 2 <i>Hiperespectrales</i>	20
Figura 3 <i>UAV Ala Fija- Aeromapper Talon</i>	23
Figura 4 <i>UAV Multirrotor- Hydra 12</i>	24
Figura 5 <i>UAV Hibrido- FDG30 Mako Shark</i>	25
Figura 6 <i>Globos Aerostáticos Sobre Venecia</i>	26
Figura 7 <i>Hewitt- Sperry</i>	27
Figura 8 <i>Torpedo aéreo Kettering</i>	27
Figura 9 <i>Fairey Queen</i>	28
Figura 10 <i>DH-82B Queen Bee</i>	29
Figura 11 <i>RP-5</i>	30
Figura 12 <i>Ryan Firebee</i>	31
Figura 13 <i>UAV Scout</i>	32
Figura 14 <i>Dron Pionner</i>	32
Figura 15 <i>Predator MQ-1</i>	33
Figura 16 <i>Phantom 1 de DJI</i>	35
Figura 17 <i>Zonas GEO-Flysafe DJI</i>	39
Figura 18 <i>Drones usados en los combates de Nagorno-Karabaj y ucrania</i>	45
Figura 19 <i>Amazon Prime Air</i>	46
Figura 20 <i>Zipline</i>	47
Figura 21 <i>Matternet</i>	47
Figura 22 <i>UPS Flight Forward</i>	47

Figura 23 <i>DHL Parcelcopter</i>	48
Figura 24 <i>Plan de vuelo</i>	57
Figura 25 <i>Ortomosaico de Banyoles</i>	71
Figura 26 <i>Modelos Digitales de Elevación</i>	72
Figura 27 <i>Cuadro comparativo de firmas espectrales</i>	73
Figura 28 <i>Mapa temático que ilustra la concentración de minerales de wolframio</i>	74
Figura 29 <i>Visualización de datos LiDAR en ArcGIS Desktop</i>	76
Figura 30 <i>Fotogrametría nube de puntos de Medellín</i>	81
Figura 31 <i>Afloramiento Peñarrubia</i>	82
Figura 32 <i>Reconstrucción 3d</i>	84
Figura 33 <i>Modelamiento de Tubería</i>	86
Figura 34 <i>Misión de Vuelo</i>	87
Figura 35 <i>Modelado 3d Fachada</i>	88
Figura 36 <i>Efectos detallados del Puente en su modelo 3D realista</i>	89
Figura 37 <i>Datos procesados de la vía</i>	90
Figura 38 <i>Volúmenes de Caliza</i>	92

Listado De Tablas

Tabla 1 <i>UAV en el mercado</i>	52
--	----

Introducción

La ingeniería ha experimentado una revolución recientemente con la implementación de Vehículos aéreos no tripulados (UAV), estos dispositivos innovadores son herramientas versátiles para realizar tareas complejas, peligrosas o incluso imposibles. La monografía actual explora el campo de la ingeniería con el uso de los UAV, analizando sus diversas aplicaciones y su impacto. Abarcando desde su definición y evolución histórica hasta sus usos específicos en las distintas ramas de la ingeniería, este trabajo de investigación ofrece una visión integral de estos artefactos tecnológicos. Se ha realizado una exhaustiva revisión bibliográfica, consultando artículos científicos, noticias, documentales, videos y otras fuentes confiables, con el objetivo de recopilar de manera meticulosa la información más reciente sobre los avances científicos y tecnológicos relacionados con los UAV a nivel global.

A lo largo de este análisis, Se destaca la importancia de los UAV en la ingeniería, destacando el vasto abanico de posibilidades que estos dispositivos ofrecen para el futuro de la disciplina, particularmente en la ingeniería civil. Se abordarán en detalle las características de los UAV, sus aplicaciones específicas en la ingeniería y, por último, se enfatizará la ingeniería civil, donde la digitalización de la información obtenida mediante UAV juega un papel fundamental.

Este trabajo de investigación busca ser un recurso valioso para aquellos interesados en comprender el papel transformador de los UAV en la ingeniería. Se espera que la información aquí presentada sirva como base para futuras investigaciones y contribuya al desarrollo innovador de aplicaciones prácticas de estos dispositivos en beneficio de la sociedad.

Capítulo 1

Presentación de los vehículos aéreos no tripulados

El capítulo presenta en profundidad los UAV, comúnmente conocidos como drones. se pretende ofrecer una comprensión integral de estos ingeniosos dispositivos.

Se procederá a definir de manera precisa y detallada los UAV, destacando sus características generales y particulares que los diferencian de las aeronaves tradicionales. Se hará énfasis en la ausencia de piloto, la diversidad de tamaños y configuraciones, la variedad de sistemas de propulsión, las capacidades de vuelo autónomo, la variedad de sensores, la conectividad en tiempo real, la flexibilidad y adaptabilidad, y el potencial ilimitado para la innovación que caracterizan a este tipo de aeronaves.

Se realizará un recorrido histórico a través del tiempo, trazando la evolución de estos dispositivos desde sus inicios hasta su posición actual como herramientas indispensables en una amplia gama de sectores. Se explorará cómo los UAV han pasado de ser herramientas militares especializadas a convertirse en elementos comerciales de uso laboral.

Se profundizará en la Clasificación Normativa de los UAV, categorizándolos según su tamaño, peso y capacidades. Se procederá a explicar las categorías de operación abierta, específica y certificada, comprendiendo los requisitos y regulaciones que se aplican a cada una de ellas.

1.1 Definición

La tecnología de los UAV ha experimentado una evolución en su terminología a lo largo del tiempo, reflejando el desarrollo tecnológico y la creciente complejidad de estas aeronaves. Inicialmente, se utilizaban términos genéricos como "aviones sin piloto" o "aeronaves a control remoto". En la década de 1950, surgió la sigla UAV (Unmanned Aerial Vehicle) para referirse a la aeronave en sí misma, mientras que en la década de 1980 se introdujo UAS (Unmanned Aircraft

System) para englobar todo el sistema, incluyendo la aeronave, la estación de control en tierra, los enlaces de comunicación y el software de control de vuelo.

A finales del siglo XX, se incorporó el acrónimo RPA Remotely Piloted Aircraft o Aeronave Pilotada a Distancia para enfatizar el papel del piloto remoto en la operación de la aeronave. El término "drone" se popularizó a principios del siglo XXI, principalmente en el contexto militar, aunque algunos expertos lo consideran impreciso por no abarcar todas las características y aplicaciones de estas tecnologías. VANTS es la sigla en español para Vehículo Aéreo No Tripulado.

La terminología utilizada para UAV también tiene implicaciones legales y regulatorias, ya que las autoridades aeronáuticas de cada país establecen normas y procedimientos específicos para la operación de RPAS/UAS, utilizando la terminología oficial adoptada en su normativa. Es importante comprender las diferencias entre los diferentes términos para una comunicación precisa y un uso adecuado en diversos contextos.

1.2 Características Generales de los UAV

Los UAV representan una revolución tecnológica que redefine nuestra forma de interactuar con el mundo desde el aire. Su ausencia de piloto, diversidad de tamaños y configuraciones, variedad de sistemas de propulsión, capacidades de vuelo autónomo, amplia gama de sensores, conectividad en tiempo real, flexibilidad y adaptabilidad. La tecnología UAV está evolucionando, lo que traerá más aplicaciones innovadoras y beneficiosas para la sociedad. Su uso en ingeniería mejorará sus características principales.

1.2.1 Ausencia de piloto y control remoto

Esta característica fundamental elimina los riesgos asociados al vuelo tripulado, permitiendo operar los UAV en entornos peligrosos o de difícil acceso, donde la presencia humana sería inviable o altamente riesgosa. Su control remoto desde tierra, ya sea mediante un controlador especializado o una aplicación móvil intuitiva, facilita su manejo y abre una variedad de posibilidades para diferentes aplicaciones.

Como lo expresan Orquera (2020) en su investigación, allí menciona que el monitoreo de biodiversidad y ecosistemas, que son de difícil acceso se puede mantener en una constante vigilancia sin afectarlos pues estos pueden ser muy sensibles a las alteraciones que genere el hombre, con la supervisión aérea se evita el acceso directo del hombre.

1.2.1.1 Transmisor y receptor de radio. Los sistemas de radiocontrol (RC) son componentes esenciales para la operación de drones, permitiendo la comunicación bidireccional entre el piloto y la aeronave.

Ojeda Bustamante (2016) indica en su investigación se menciona que los UAV utilizan sistemas de transmisión y recepción de radio para la comunicación inalámbrica. Estos drones incorporan transmisores de radio que emiten señales electromagnéticas para la comunicación y control remoto de la aeronave. Por otro lado, cuentan con receptores de radio que captan estas señales para interpretar las instrucciones enviadas por el operador en tierra. Esta tecnología de transmisión y recepción de radio es fundamental para el funcionamiento y control efectivo de los drones no tripulados en diversas aplicaciones.

El transmisor envía comandos al dron. Este dispositivo alberga joysticks, botones e interruptores que permiten controlar los movimientos de la aeronave, tales como ascenso, descenso, avance, retroceso, giro y volteo. El transmisor codifica estas entradas del piloto en

señales de radio y las transmite a través de antenas hacia el dron. El receptor, por otro lado, se encuentra instalado en el dron y es responsable de recibir las señales de radio del transmisor. Estas señales son decodificadas y enviadas al controlador de vuelo, la unidad central de procesamiento del dron que interpreta los comandos y los convierte en acciones concretas, como el movimiento de los motores o el ajuste de la inclinación de las hélices.

1.2.2 Tamaños y Configuraciones

Los UAV no se encasillan en un molde único. Su tamaño varía desde pequeños dispositivos portátiles que caben en la mano hasta modelos más robustos y capaces de transportar cargas considerables. Esta diversidad permite adaptarlos a diferentes necesidades y aplicaciones, desde tareas de inspección a corta distancia en espacios confinados hasta misiones de largo alcance en vastos territorios.

1.2.3 Sistemas De Propulsión

Los UAV no dependen de un único método de propulsión. Su versatilidad se refleja en la incorporación de motores eléctricos, de combustión interna e incluso turbinas a reacción, dependiendo de los requerimientos específicos de cada modelo y su aplicación. El sistema de propulsión afecta la autonomía, la carga y las condiciones de operación de un vehículo.

El documento de Amici (2021) proporciona una visión integral del diseño de sistemas de propulsión para UAV. Se destaca que el diseño del sistema de propulsión Es una fase esencial en el procedimiento de diseño de UAV, ya que afecta significativamente el rendimiento y la autonomía de estos vehículos. Además, se menciona que el sistema de propulsión puede constituir una parte importante de la masa del UAV, lo que resalta su relevancia en el diseño global del vehículo.

Se menciona que los métodos de diseño de sistemas de propulsión para UAV varían según las aplicaciones esperadas y las condiciones de trabajo específicas de los drones. Se resalta que el diseño detallado de elementos específicos de drones y componentes de propulsión es el enfoque principal en la mayoría de los artículos en este ámbito. Además, se menciona que la comunidad científica muestra un gran interés en el diseño de elementos específicos de UAV, lo que ha llevado a la propuesta de un marco para el estudio preliminar del sistema de propulsión en vehículos aéreos no tripulados.

Amici (2021) proporciona información sobre varios sistemas de propulsión existentes para UAV. Algunos ejemplos mencionados incluyen: Sistema de propulsión híbrido para un UAV VTOL tailsitter, que fue objeto de diseño en un estudio específico. Sistema de propulsión impulsivo para un UAV multimodal capaz de vuelos aéreos sostenidos, locomoción en el agua y despliegue desde un tubo lleno de aire comprimido. Sistema de turbo compresión y procedimiento de análisis de rendimiento para un UAV de larga duración y gran altitud. Sistema de propulsión y diseño de integración de un UAV turborreactor de subescala.

1.2.4 Capacidades De Vuelo Autónomo

Si bien algunos UAV requieren control remoto constante para realizar sus funciones, muchos modelos modernos incorporan sofisticados sistemas de vuelo autónomo. Estos sistemas les permiten ejecutar misiones preprogramadas sin intervención humana, aumentando significativamente su eficiencia y versatilidad. Gracias a esta capacidad, los UAV pueden operar en entornos complejos o peligrosos donde el control remoto resulta difícil o imposible.

1.2.5 Sensores

Los UAV se han convertido en plataformas de información aérea. Su capacidad para equiparse múltiples sensores, incluyendo cámaras de alta resolución, GPS de precisión,

acelerómetros, giroscopios, sensores de altitud, barómetros e incluso sensores multiespectrales, les permite recopilar datos e información de gran valor para diversas aplicaciones. Desde fotografía aérea y cartografía precisa hasta inspección de infraestructuras críticas y monitoreo ambiental detallado, los UAV expanden las posibilidades de análisis y toma de decisiones.

1.2.5.1 Receptor GPS. El receptor GPS en un dron es esencial para localizar su posición geográfica. Al combinar diferentes datos de sensores, se logra un seguimiento exacto de la ubicación de un VANT, permitiendo funciones como vuelo autónomo. El dron puede volver automáticamente al punto de partida si pierde la señal del controlador, gracias al GPS. El VANT puede registrar su posición para análisis o mapas.

Los receptores GPS se dividen en tres categorías principales según sus características y aplicaciones según (Ojeda et al. 2016):

Receptores de navegación: Estos receptores reciben observables de código, incluyendo el tiempo. Son comunes en la navegación diaria, en dispositivos como teléfonos celulares, sistemas de navegación en vehículos, GIS y levantamientos de menor precisión, donde los errores de posición aceptables suelen ser de alrededor de 5 metros.

Receptores de no navegación: Estos receptores captan tanto códigos como fases de las portadoras L1. Son más avanzados y se emplean en aplicaciones que demandan mayor precisión, como el seguimiento de instrumentos científicos y algunas aplicaciones geo-referenciales que requieren precisión submétrica, logrando errores de posición inferiores a un centímetro en ciertos casos.

Receptores de interferometría: Estas unidades, las más sofisticadas, reciben las fases de las portadoras L1 y L2. Se utilizan en aplicaciones científicas y de geodesia de alta precisión, como la medición de movimientos de la corteza terrestre, monitoreo ambiental detallado y estudios

geodésicos complejos. Aquí, las precisiones requeridas son extremadamente rigurosas, a menudo en el rango de milímetros.

1.2.5.2 Acelerómetros. Medir, observar y evaluar la aceleración y la vibración con acelerómetros, ya sea de manera automática o a través de un sistema de adquisición de datos. Estos sensores se pueden encontrar en una variedad de formas (detección sin procesar, transductores empaquetados o sistemas completos), y pueden realizar tareas como visualizar y grabar datos de forma local o remota. (Castillo, Lozano y Dzul, 2005)

1.2.5.3 Giroscopios. Los giroscopios MEMS son sensores inerciales cruciales en los VANT, midiendo las velocidades angulares y trabajando en conjunto con acelerómetros para calcular la orientación, velocidad y altura del vehículo. Su función principal es estabilizar el vuelo, corregir desviaciones, facilitar la navegación y detectar obstáculos, siendo esenciales para el control preciso y seguro del VANT en diversas aplicaciones. (Taranovich, S, 2019)

1.2.5.4 Barómetros. Los sensores de presión barométrica son esenciales para la estabilización de la altitud en drones, permitiendo el vuelo estacionario y la captura precisa de vídeos e imágenes.

Su operación se fundamenta en la determinación de la presión atmosférica, que varía con la altitud. Esta información se combina con datos del acelerómetro y giroscopio para lograr un control preciso del movimiento del dron en los tres ejes (vertical, horizontal y rotacional). (*Sensores de drones para el Vuelo Estacionario y las maniobras con precisión en el aire*, 2024)

De esta manera, los sensores de presión barométrica contribuyen a la estabilidad, precisión y maniobrabilidad de los drones, haciéndolos herramientas versátiles para diversas aplicaciones.

1.2.5.5 Sensores pancromáticos. Un sensor de luz llamado sensor pancromático captura toda la luz visible en un solo canal sin distinguirla por longitud de onda. Esto significa que, en

lugar de dividir la luz en diferentes colores como lo hace el ojo humano o una cámara de color tradicional, registra la intensidad total de la luz en todas las longitudes de onda, desde el rojo hasta el violeta.

En comparación con los sensores multiespectrales y hiperespectrales, el pancromático por ser de una banda amplia en el espectro visible, tiene una baja resolución espectral, aun así, sus imágenes en Blanco y negro logran una alta resolución espacial.

1.2.5.6 Sensores multiespectrales. A diferencia de las cámaras convencionales que capturan imágenes en rojo, verde y azul (RGB), Pueden detectar longitudes de onda de ultravioleta a infrarrojo cercano, revelando información invisible a simple vista.

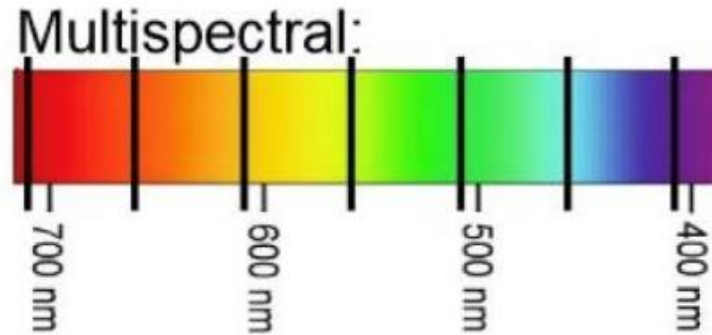
Las cámaras multiespectrales para drones van más allá del espectro visible, capturando imágenes en múltiples longitudes de onda para crear mapas detallados. Permiten el monitoreo de cultivos, la gestión ambiental, la inspección de infraestructura y más, ofreciendo información crucial para la toma de decisiones. (Javi, 2023)

Su elección depende de la aplicación, el presupuesto, la facilidad de uso y el soporte del software. Cuando se eligen correctamente, estas cámaras son una herramienta poderosa para mejorar la eficiencia, la seguridad y la toma de decisiones en muchas aplicaciones.

Las imágenes multiespectrales capturan información de la luz reflejada en un número limitado de bandas del espectro electromagnético, típicamente entre 3 y 15. Estas bandas se seleccionan cuidadosamente para abarcar regiones del espectro que son relevantes para la aplicación en cuestión. Por ejemplo, en la agricultura, las bandas comúnmente utilizadas corresponden a la luz roja, verde y azul, ya que estas longitudes de onda son útiles para evaluar la salud de la vegetación.

Figura 1

Multispectral



Nota. La imagen nos muestra una posible forma en la que el sensor tomaría los colores por bandas limitadas en el espectro visible. NASA https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2023-02/Fundamentals_of_RS_Span.pdf

La principal ventaja de las imágenes multispectrales radica en su simplicidad y economía. Al trabajar con un conjunto reducido de datos, estas imágenes son más fáciles de procesar y requieren menos recursos computacionales. Esto las convierte en una opción atractiva para aplicaciones como la clasificación de coberturas del suelo, observar el crecimiento de los cultivos y detectar cuerpos de agua.

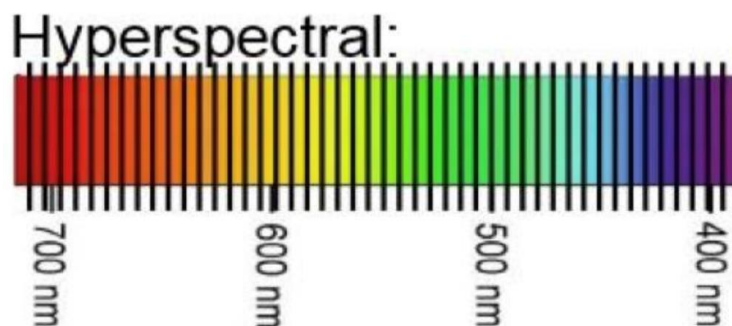
1.2.5.7 Sensores hiperespectrales. Los sensores hiperespectrales en las cámaras de drones son herramientas sofisticadas que capturan información de la luz en un rango mucho más amplio que las cámaras tradicionales. A diferencia de las cámaras convencionales que capturan imágenes en solo tres bandas de color (rojo, verde y azul), los sensores hiperespectrales recopilan datos en cientos o incluso miles de bandas estrechas del espectro electromagnético. Esta amplia gama de longitudes de onda permite a los sensores hiperespectrales detectar y analizar características que son invisibles para el ojo humano o las cámaras RGB. (Martínez, 2020)

El funcionamiento de los sensores hiperespectrales empieza cuando la luz del sol golpea un objeto y este refleja diferentes longitudes de onda de luz según su composición química y física. Los sensores hiperespectrales utilizan un prisma o una rejilla para dispersar la luz reflejada en sus componentes espectrales individuales. Cada banda espectral se mide con un detector de luz sensible, creando un perfil detallado de la "huella dactilar" espectral del objeto.

En contraste con las imágenes multispectrales, las imágenes hiperespectrales recopilan datos en cientos o incluso miles de bandas estrechas a lo largo del espectro electromagnético. Esta alta resolución espectral permite una identificación mucho más precisa de las características espectrales de los materiales.

Figura 2

Hiperespectrales



Nota. La imagen nos muestra una posible forma en la que el sensor tomaría los colores, con un número mayor de bandas en el espectro visible. NASA https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2023-02/Fundamentals_of_RS_Span.pdf

Si bien las imágenes hiperespectrales ofrecen una gran cantidad de información valiosa, su elevado número de bandas trae consigo algunos desafíos. El procesamiento y análisis de estos conjuntos de datos complejos requiere mayor potencia computacional y experiencia especializada.

Además, el costo de los sensores hiperespectrales suele ser significativamente más alto que el de los sensores multispectrales. (Pérez, D.J., 2007).

1.2.6 Conectividad y transmisión de datos en tiempo real

Los UAV modernos no operan en aislamiento. Su conectividad mediante sistemas de comunicación les facilita la transmisión de datos en tiempo real a la estación de control en tierra. Esto brinda al operador un flujo constante de información, incluyendo el estado del UAV, las imágenes y datos capturados por los sensores, y la posibilidad de controlar la misión de forma remota con precisión.

1.2.6.1 Telemetría. envía datos de vuelo en tiempo real (velocidad, altura, etc.) desde el VANT a la estación en tierra, posibilitando el monitoreo a distancia y la toma de decisiones oportunas. El sistema OSD (On Screen Display o menú en pantalla) integra estos datos en la imagen de la cámara, ofreciendo una visión completa del estado del vuelo y el entorno del VANT.

Un receptor de GPS es parte de un sistema de telemetría en un UAV, según Shakhathreh et al. (2019). La telemetría es la transmisión de datos de vuelo en tiempo real desde el UAV a una estación terrestre. La transmisión de datos permite el monitoreo y control del UAV para asegurar un vuelo seguro y eficiente. Telemetría implica la transmisión de datos de vuelo del UAV, como la ubicación y el estado de la batería.

1.2.7 Flexibilidad y adaptabilidad

Los UAV no son herramientas rígidas; en cambio, son extremadamente adaptables. Su diseño modular les permite personalizarse con una variedad de accesorios y software, ampliando su rango de aplicaciones y satisfaciendo necesidades específicas. Esta característica los convierte en instrumentos versátiles que pueden adaptarse a una variedad de entornos y tareas.

1.3 Tipología de los drones

Se resalta que los sistemas de ala fija ofrecen una mayor duración de vuelo, mientras que los sistemas de multirrotor ofrecen una mayor carga útil y agilidad. Utilizando una variedad de sensores pasivos y activos, las aplicaciones de teledetección de UAS son cruciales para muchos de los principales mercados.

Existen dos tipos principales de UAVs ala fija y multirrotor. según (Gupta, Ghonge, & Jawandhiya, 2013), pero también nace otro tipo de drones y son los híbridos.

1.3.1 Ala fija

UAV de ala fija (Fixed-wing UAV), se distinguen por sus alas que les permiten generar sustentación aerodinámica y volar de manera similar a los aviones tradicionales. A diferencia de los drones multirrotor que utilizan hélices, los drones de ala fija aprovechan el flujo de aire sobre sus alas para mantenerse en el aire, lo que les otorga ventajas significativas en cuanto a duración de vuelo, alcance, velocidad y capacidad de carga. (Cuerno-Rejado et al. 2016).

Su mayor eficiencia aerodinámica les permite volar durante horas, haciéndolos ideales para tareas como vigilancia, cartografía o fotografía aérea. Su mayor autonomía les posibilita cubrir distancias más amplias que los drones multirrotor, siendo adecuados para misiones en áreas remotas o transporte de carga a media distancia. Su mayor velocidad los convierte en herramientas útiles para tareas que requieren rapidez, como la inspección de líneas eléctricas o búsqueda y rescate. Su mayor capacidad de carga los hace ideales para aplicaciones como la entrega de suministros o la instalación de equipos.

Figura 3

UAV Ala Fija- Aeromapper Talon



Nota. Drone de ala fija luego de un aterrizaje en campo, Aeromapper talon. (2019, February 3).

Aeromao Inc. <https://aeromao.com/products/aeromapper-talon/>

1.3.2 Multirrotor

Los drones Multirrotor, también conocidos UAV multirrotor o VTOL (Vertical Take-Off and Landing), se caracterizan por su diseño con múltiples rotores que generan empuje y elevación, lo que les permite realizar maniobras complejas y mantener una posición estable en el aire. A diferencia de los drones de ala fija, que dependen del flujo de aire sobre sus alas, los drones multirrotor utilizan hélices para generar el empuje necesario para volar. (Cuerno-Rejado et al. 2016).

Su principal ventaja radica en su gran maniobrabilidad, lo que los hace ideales para volar en espacios reducidos o entornos complejos, como inspecciones de infraestructuras, agricultura de precisión o búsqueda y rescate. Su habilidad para despegar y aterrizar verticalmente les permite operar desde casi cualquier superficie, sin necesidad de pistas de aterrizaje. Su facilidad de control los convierte en una opción accesible para usuarios sin experiencia previa en aviación.

Si bien los drones multirrotor ofrecen una gran maniobrabilidad y facilidad de uso, presentan algunas desventajas que se deben tener en cuenta antes de elegirlos para una aplicación específica. Su principal limitación es la menor duración de vuelo, ya que el consumo de energía de las hélices reduce considerablemente la autonomía en comparación con drones ala fija. Esto

limita su idoneidad para misiones extensas. La duración de las baterías limita su uso en zonas remotas. Los drones multirrotor suelen ser más lentos que los drones de ala fija, esto puede limitar el uso en aplicaciones que requieren velocidad. Por último, su capacidad de carga se ve limitada por el tamaño y peso de sus motores y baterías, lo que restringe la cantidad de equipo o materiales que pueden transportar. A pesar de estas limitaciones, UAV multirrotor han ganado gran popularidad por su versatilidad, facilidad de uso y amplia gama de aplicaciones. Su potencial continúa creciendo a medida que la tecnología avanza, abriendo nuevas oportunidades para diversos sectores, ya que ahora gracias a las dimensiones que se les ha dado pueden cargar hasta una 10kg si es necesario como lo hace el HYDRA-12, pero esto es un caso específico de dron.

Figura 4

UAV Multirrotor- Hydra 12



Nota. Este dron está diseñado para cargas pesadas y su funcionamiento consta de 12 motores. Dron

multicóptero - HYDRA-12. (2017, October 5).

<https://www.directindustry.es/prod/altigator/product-192127-1910774.html>

1.3.3 Híbrido

Las aeronaves híbridas VTOL (Despegue y Aterrizaje Vertical) de ala fija se distinguen por su capacidad para operar de forma autónoma, combinando las ventajas de vuelo de ala fija y

ala rotatoria. Esta innovadora tecnología ofrece flexibilidad sin precedentes en las operaciones aéreas, permitiendo transiciones fluidas entre ambos modos de vuelo según las necesidades de la misión. Las características clave de estas aeronaves incluyen vuelo multimodal con transiciones suaves, capacidad de realizar despegues y aterrizajes diferenciados en cada modo de vuelo, y alas orientales con motores de hélice orientables. Su potencial de aplicaciones es amplio, incluyendo búsqueda y rescate, monitoreo y vigilancia, transporte de carga y aplicaciones militares.

Figura 5

UAV Híbrido- FDG30 Mako Shark



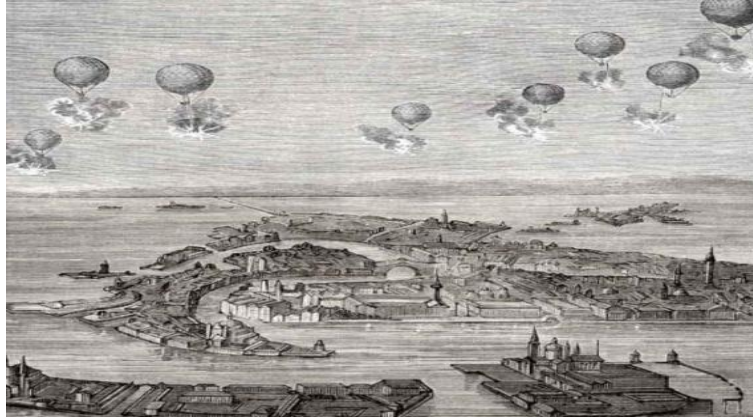
Nota. UAV híbrido VTOL de 6 horas de autonomía para diversas aplicaciones. (2022, 3 de mayo). Hispaviación. <https://www.hispaviacion.es/se-presenta-un-uav-hibrido-vtol-de-6-horas-de-autonomia-para-cartografia-topografia-y-vigilancia/>

1.4 Resumen histórico del desarrollo de los UAV

El comienzo de los drones modernos se remonta a los RPA. Se muestra una recopilación de la historia de los drones, desde sus orígenes como globos aerostáticos con explosivos hasta sus modernos vehículos aéreos no tripulados. Se remonta a 1849, cuando el ejército Austriaco empleó globos aerostáticos sin tripulación para atacar Venecia. (Rushby, Rachel Sïmon. 2017).

Figura 6

Globos Aerostáticos Sobre Venecia



Nota. Imagen representativa del ataque del ejército Austriaco sobre Venecia. Lanau, R. (2023).

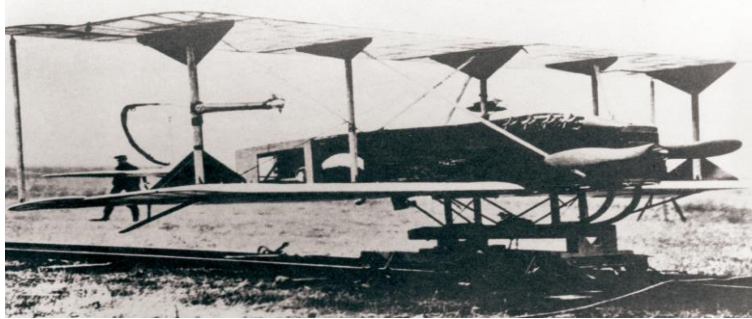
Imagen tomada de Aerial Productions. <https://aerialproductions.es/historia-de-los-drones-2/>

Es importante destacar la contribución de Nikola Tesla, a quien se le atribuye la invención del misil de crucero y de la aviación no tripulada. En 1898, Tesla creó el "Teleautomaton", un vehículo naval con la capacidad de desplazarse, detenerse, girar en ambas direcciones y enviar diversas señales de radio. (Cuerno-Rejado, C., 2016)

Los primeros pasos en el desarrollo de los UAVs se dieron durante la Primera Guerra Mundial, impulsados por la necesidad de crear armas novedosas y efectivas. En 1916, se presentó el Aerial Target, un prototipo rudimentario controlado por radiofrecuencia AM baja, diseñado para la práctica de tiro contra zepelines. Aunque este proyecto no llegó a perfeccionarse, sentó las bases para el concepto de UAV. El 12 de septiembre de ese mismo año, el Hewitt-Sperry Automatic Airplane, apodado "la bomba volante", llevó a cabo su primer vuelo de prueba. Este dispositivo, considerado un precursor de los misiles de crucero actuales, se concibió como un "torpedo aéreo" y su control se basaba en giróscopos desarrollados por Elmer Sperry. (de Madrid, C., 2015).

Figura 7

Hewitt- Sperry



Nota. El torpedo aéreo Hewitt- Sperry en una catapulta en una vía férrea. Es evidente que no hay cabina para el piloto.

El torpedo aéreo Kettering, un biplano no tripulado guiado por un mecanismo de relojería, fue diseñado por Charles Kettering de General Motors en 1917. El objetivo era que el vehículo plegara las alas y cayera sobre el enemigo como una bomba. Durante la Primera Guerra Mundial, el objetivo de este proyecto, respaldado por el Ejército de los Estados Unidos, era crear un vehículo aéreo no tripulado capaz de llevar explosivos detrás de las líneas enemigas sin comprometer la seguridad de los pilotos. (Ávila Herrera, C.C., 2017)

Figura 8

Torpedo aéreo Kettering



Nota. El torpedo aéreo Kettering el cual se encuentra en museo, imagen tomada de (Hellfire, 2015).

El Reino Unido fue un líder en el desarrollo de RPA en los años treinta. La Royal Air Force planeó desarrollar aeronaves controladas por radio con dos metas principales: entrenar a la artillería y entregar armamento. Estas aeronaves tenían la intención de despegar, volar frente a los artilleros, regresar y luego ser reutilizadas. (Ojeda Bustamante et al. 2016)

El Fairey IIF fue un hidroavión biplano de reconocimiento británico, parte de la familia Fairey III. Se produjo y utilizó durante un largo período, tanto en tierra como en mar. El primer prototipo voló el 20 de abril de 1926. Construido en nueve variantes entre 1927 y 1932 para la Royal Air Force (RAF) y la Fleet Air Arm (FAA). (encyclopedia, naval,2023). este hidroavión de cooperación naval fue ordenado por el Navy Air Corps pero utilizado por la unificada Hellenic Air Force. La entrega se realizó entre 1929 y 1931 para diez aviones, mientras que cuatro más se entregaron en 1937. (*Fairey IIF Corsair y IV Seal*, 2013). El Fairey Queen, una adaptación del hidroavión Fairey IIF. Entre 1932 y 1933, la Marina Real británica lo empleó como blanco en ejercicios de artillería, sentando las bases para el desarrollo de sistemas de drones más sofisticados en el futuro. (Keane y Carr, 2013)

Figura 9

Fairey Queen



Nota. El Faire Queen listo para ser lanzado Foto: Marina Real. Referencia: Aviones Fairey desde 1915 por HA Taylor

A pesar de su alto costo y limitada producción (solo tres unidades), el Fairey Queen demostró el potencial de los drones para este tipo de aplicaciones. Su éxito impulsó la necesidad

de un RPA específico para entrenamiento de artillería. Esta iniciativa condujo al desarrollo del DH.82B Queen Bee, un biplano fabricado por de Havilland Aircraft Company para la Real Fuerza Aérea británica.

Figura 10

DH-82B Queen Bee



Nota. DH-82B Queen Bee, se convirtió en el primer avión sin piloto. O'Malley, D. (2021, August 9). *La madre de todos los drones. Alas vintage de Canadá.* <https://www.vintagewings.ca/stories/mother-of-all-drones>

El Fairey Queen, considerado uno de los primeros RPAs desarrollados por la RAF, representa un legado crucial en el desarrollo de los drones. Su experiencia allanó el camino para la adopción generalizada de estos dispositivos en diversas áreas, desde el ámbito militar hasta la investigación científica.

Impulsada por los avances del Reino Unido, la Marina de Estados Unidos reanudó su programa de objetivos aéreos controlados por radio en 1936 con el nombre de "Proyecto de aeronaves controladas por radio". Según (Keane y Carr, 2013). El teniente-comandante D. S. Fahrney es el encargado de llevar a cabo el proyecto, y en su informe anual de 1936, utilizó el término "Drone" para referirse a objetivos aéreos no tripulados. (Ronconi et al., 2014). Fahrney explica que la palabra "dron", que significa "zángano" en inglés, fue elegida para honrar al RPA que lo inspiró, el Queen bee (abeja reina). (Ehrhard, 2010).

En 1941 la Armada de los Estados Unidos da un gran paso en la tecnología de drones con un pedido sustancial del modelo RP-5 de Radioplane, posteriormente renombrado como OQ-2.

Figura 11

RP-5



Nota. Radioplane RP-5 Target Drone, c.2000 en el Western Museum of Flight, Hawthorne, California (Fotos de John Shupek)

Este vehículo aéreo no tripulado (VANT) alcanzaba velocidades de hasta 90 mph, una hazaña notable para la época. (OQ-2A Radio Controlled Target Unit (1941-1950), 2015)

Un precursor clave en la historia de los drones surge en 1951 con el diseño del Ryan Firebee. Este VANT, desarrollado por la compañía Ryan Aeronautical Company, sentaría las bases para su uso extensivo en el conflicto de Vietnam.

La Guerra de Vietnam en 1955-1975 marca la historia de los drones. Considerado como el primer conflicto a gran escala donde se utilizaron ampliamente estos dispositivos, el escenario vietnamita vio el despliegue de numerosos modelos, entre los que destaca el Ryan Firebee. Estos drones, diseñados para misiones de reconocimiento y vigilancia, proporcionaron información crucial a las fuerzas estadounidenses en el campo de batalla. (Keane y Carr, 2013; Ronconi et al.,2014)

Figura 12

Ryan Firebee



Nota. Hangar que contiene los Drones utilizados para inteligencia llamados Ryan Firebee, estos drones solo podían elevarse gracia a otra Aeronave que con la altitud correspondiente los soltaba.

Foto de: USAF

La Guerra de Vietnam significó un cambio decisivo en el desarrollo de los UAV. Entre los años 1966-1975 La Fuerza Aérea de los Estados Unidos utilizó el avión Ryan 147J para realizar misiones de captura de reconocimiento MARS, (Multisensor Reconnaissance Acquisition System), precursor de los drones modernos. Estas operaciones recopilaban inteligencia crucial sobre las posiciones y movimientos del enemigo, sentando las bases para el uso más amplio de los VANT en el futuro. (James, B,1988)

En 1978, Israel Aircraft Industries presentó el UAV Scout en el Salón Aéreo de París. Este pequeño VANT, impulsado por un motor de pistón, representaba un avance significativo en la tecnología de drones. Su bajo costo de producción y buena resistencia lo convirtieron en una opción atractiva para las fuerzas armadas.

El UAV Scout tuvo su primera experiencia en combate en 1981, cuando fue utilizado por la Fuerza de Defensa de Sudáfrica durante la guerra de Israel contra Angola. Su desempeño impresionó a varios países, y en 1982, durante la guerra de Israel contra Siria, el Scout demostró

su eficacia al derribar con precisión numerosas aeronaves sirias con mínimas pérdidas humanas. Este éxito consolidó la posición de los VANT como herramientas militares maduras y efectivas. (Zaloga, S. 2011)

Figura 13

UAV Scout



Nota: este Vehículo Aéreo no tripulado era usado en inteligencia Armas israelíes.com. Obtenido el 22 de junio de 2024 de <https://www.israeli-weapons.com/weapons/aircraft/uav/scout/Scout.html>

En 1984, las empresas israelíes IAI y Tadiran Ltd se unieron para crear MAZLAT Ltd, dando origen al Dron Pioneer. Este modelo, fabricado con materiales ligeros como fibra de carbono, fibra de vidrio y Kevlar, representó un salto importante en la tecnología de drones de la época. (Ojeda Bustamante. et al, 2016)

Figura 14

Dron Pionner



Nota: Dron Pionner hizo Reconocimiento, vigilancia, objetivos e información sobre daños en batalla en tiempo real El avión fue pilotado por controladores a distancias superiores a los 100km.

Sus materiales compuestos y su tamaño lo hacen difícil de detectar visualmente y por radar. Imagen tomada de https://airandspace.si.edu/collection-objects/pioneer-rq-2a-uav/nasm_A20000794000

El Dron Pioneer demostró su valía en la Primera Guerra del Golfo (1990-1991). Israel lo utilizó en más de 300 misiones en la operación "Tormenta del Desierto", recopilando inteligencia crucial para las fuerzas aliadas y contribuyendo significativamente al éxito de la campaña. (Ojeda Bustamante. et al, 2016)

El año 2000 marcó un hito en la historia de los drones con la introducción del RQ-1 Predator (MQ-1). Basado en el diseño del ingeniero iraquí Abraham Karem, este modelo marcó el inicio de la era moderna de los VANT y RPAs (Remotely Piloted Aircraft) para misiones de vigilancia y reconocimiento. (Cole, C.,2014)

Figura 15

Predator MQ-1



Nota. Se trata del primer avión no tripulado en funcionar con el sistema de posicionamiento global GPS. Además, fue el primer UAV en disparar misiles Hellfire en combate y el primer Predator en probar el misil. Imagen de <https://www.erepublik.com/en/article/2516757>

En 2002, un dron Predator en Yemen realizó el primer ataque letal de este tipo, abriendo un nuevo capítulo en el uso de drones en conflictos. Este evento marcó un aumento significativo

en la utilización de drones en diferentes operaciones militares alrededor del mundo, generando debates éticos y legales sobre su uso en la guerra. (Ojeda et al, 2016)

Aunque los drones tienen un origen militar, su potencial rápidamente se extendió a otras áreas. Después de años de desarrollo y pruebas en contextos bélicos, los drones comerciales marcaron una nueva etapa en la historia de estos dispositivos.

El año 2006 marcó un hito crucial en este camino. La Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos emitió los primeros permisos comerciales para el uso de drones, allanando el camino para un mercado con un gran potencial. A partir de este punto, numerosas empresas se embarcaron en la creación y comercialización de drones para diversos fines, tanto profesionales como recreativos.

Entre las pioneras en este campo se encuentran DJI, Parrot y 3D Robotics, compañías que revolucionaron la industria con sus innovadores diseños y funcionalidades. Sus drones, inicialmente orientados a la fotografía aérea y la videografía, no tardaron en encontrar aplicaciones en sectores como el agrícola, la construcción, la inspección de infraestructuras e incluso la entrega de paquetes.

DJI: Fundada en China en 2006, DJI el líder mundial de la industria de drones, con diversos modelos para distintas aplicaciones, desde fotografía aérea y filmación hasta agricultura y vigilancia, Su primer producto fue el DJI Phantom 1: Lanzado en 2013, el Phantom 1 se considera el primer dron comercial de DJI ampliamente disponible y popularizó el uso de drones para fotografía aérea y videografía.

Figura 16

Phantom 1 de DJI



Nota. Este prototipo daría paso a nuevas generaciones de drones, manteniendo el mismo estilo, pero evolucionando en características como el Phantom 4 su versión mejorada. Imagen tomada de <https://www.dji.com/global/phantom>

3D Robotics: Fundada en los Estados Unidos en 2009, 3D Robotics fue una de las primeras empresas en ofrecer drones de código abierto, lo que permitió a los usuarios personalizarlos y adaptarlos a sus necesidades específicas, Iris+: Presentado en 2014, el Iris+ fue uno de los primeros drones de código abierto que permitió a los usuarios personalizarlo y adaptarlo a sus necesidades específicas.

Parrot: Fundada en Francia en 1996, Parrot es conocida por sus drones de alta gama para consumidores, que destacan por su calidad de imagen y facilidad de uso, Entre sus primeros productos fue AR.Drone 1.0: Lanzado en 2010, el AR.Drone 1.0 fue uno de los primeros drones dirigidos a consumidores, conocido por su diseño compacto y facilidad de uso.

Yuneec: Fundada en China en 1999, Yuneec ofrece una amplia gama de drones a precios competitivos, se convierte en una opción popular para usuarios principiantes y aficionados, Su primer producto fue el Q500 Typhoon: Lanzado en 2014, el Q500 Typhoon fue uno de los primeros drones con cámara de 360 grados, lo que lo convirtió en una opción atractiva para la fotografía panorámica y la videografía aérea.

Si bien la aprobación del uso comercial de drones en 2006 abrió un nuevo capítulo en su historia, las investigaciones en el ámbito militar no se detuvieron. El año 2007 se realizó la incorporación del Reaper, una versión más grande y letal del Predator, a los arsenales militares. Este dron, desplegado en Afganistán e Irak, demostró su capacidad para realizar misiones de ataque y combate, consolidando el papel de los drones como herramientas de guerra cada vez más sofisticadas. (Vanden, B.T.,2008)

La búsqueda por drones militares más eficientes y versátiles continuó en 2010 con el desarrollo del RQ-4 Global Hawk. Este VANT de gran resistencia y capacidad de sensores, capaz de realizar vuelos de larga duración a altitudes de hasta 20 km, amplió significativamente las posibilidades de vigilancia y reconocimiento en el campo de batalla. (Ehrhard, P.T.,2010)

El VANT Phantom de la empresa china DJI presentado en el 2013 revoluciona el mercado comercial con su diseño compacto, facilidad de uso y capacidad para cargar cámaras de alta resolución. Este modelo, junto con propuestas similares de otras empresas, marca el inicio de una nueva era en la que los drones se vuelven accesibles para un público más amplio.

2016-2024: La tecnología de drones continúa avanzando a pasos agigantados, impulsando el desarrollo de sistemas híbridos complejos que integran componentes digitales, mecánicos, eléctricos y aerodinámicos. Además, se intensifica la investigación de drones con alas rotatorias más accesibles, maniobrables y equipados con mejores cámaras, abriendo un abanico de posibilidades para su aplicación en diversos campos, desde las ingenierías hasta la agricultura.

1.5 Clasificación Normativa de vehículos aéreos no tripulados según tamaño, peso y capacidades

La Aeronáutica Civil de Colombia (Aerocivil) implementó el Reglamento Aeronáutico Colombiano 100 (RAC 100) para reemplazar al RAC 91, buscando modernizar y armonizar la

normativa que regula la operación de Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (UAS), comúnmente conocidos como drones, en el espacio aéreo nacional. (IAEROCOL, 2023).

El RAC 91, adoptado en 2018, se basó en el enfoque de clases de operación, el cual categorizaba los drones según su peso y uso. Sin embargo, este enfoque presentó limitaciones para regular la creciente diversidad de operaciones con drones y adaptarse a los avances tecnológicos.

El RAC 100 introduce un nuevo enfoque basado en categorías de operación, las cuales se definen por niveles de riesgo asociados a las características del dron, la operación y el entorno.

Entre los puntos destacados se encuentran:

- Simplificación de categorías
- Mayor flexibilidad
- Énfasis en la gestión de riesgos
- Armonización internacional
- Requisitos más claros

Para una mayor comprensión del uso en Colombia de vehículos aéreos no tripulados, deberá tenerse en cuenta el Reglamento Aeronáutico Colombiano, RAC 100, el cual establece las normas para la operación de Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (UAS), comúnmente conocidos como drones, en el espacio aéreo colombiano. (RAC 100, 2024).

El RAC 100 clasifica los UAS en tres categorías según su peso máximo de despegue:

1.5.1 Categoría Abierta

La Categoría Abierta engloba drones de hasta 25 kilogramos de peso, simplificando su operación al no requerir permisos especiales ni licencias de piloto avanzadas. Estos drones pueden volar en áreas no restringidas, como zonas rurales y espacios abiertos, sin necesidad de autorizaciones adicionales, alcanzando una altitud máxima de 120 metros sobre el nivel del suelo

y una distancia máxima de 500 metros desde el piloto. (RAC 100, 2024). Algunos ejemplos de uso en esta categoría incluyen drones pequeños para fotografía aérea, inspección de infraestructura y uso recreativo.

1.5.2 Categoría Específica

La Categoría Específica comprende drones con un peso de entre 25 y 250 kilogramos, su operación requiere permisos específicos y licencias de piloto más exigentes emitidos por la Aeronáutica Civil de Colombia. Estos drones pueden volar en áreas no restringidas y en algunas áreas restringidas con previa autorización, alcanzando una altitud y distancia máximas variables según el tipo de operación y la autorización otorgada. (RAC 100, 2024). Algunos ejemplos de uso en esta categoría incluyen drones para agricultura de precisión, búsqueda y rescate, y filmación profesional.

1.5.3 Categoría Certificada

La Categoría Certificada engloba drones de más de 250 kilogramos, sujeta a las regulaciones más estrictas de la Aeronáutica Civil, similares a las de las aeronaves tripuladas. La aeronave debe cumplir con rigurosos requisitos de diseño, fabricación y mantenimiento, y su operación requiere licencias de piloto altamente calificadas y certificaciones adicionales. Esta categoría permite realizar operaciones complejas en áreas restringidas y con mayor altitud. (RAC 100, 2024). siendo ejemplos de uso el transporte de carga, el monitoreo de infraestructuras críticas y aplicaciones militares.

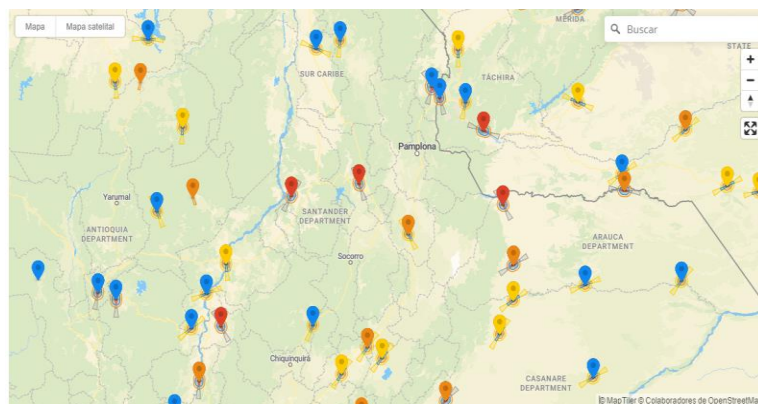
1.6 Zonas Geo

Para usar drones en diferentes áreas, se debe considerar si hay restricciones o áreas restringidas. Las áreas restringidas para vuelos de drones incluyen lugares como aeropuertos, centrales eléctricas y prisiones, donde la operación de drones está prohibida por motivos de

seguridad. Durante eventos importantes o emergencias como incendios forestales, también pueden existir restricciones temporales en estas zonas. En tales áreas, se prohíbe estrictamente el uso de drones o se emiten advertencias a los usuarios sobre los riesgos involucrados. Por otro lado, las zonas designadas como "GEO" imponen diferentes niveles de restricciones a los vuelos de drones según la ubicación. La marca de drones DJI tiene la capacidad de autorizar o desautorizar temporalmente vuelos en estas zonas a través de su tecnología. Estas restricciones se centran principalmente en áreas sensibles de seguridad nacional para garantizar la seguridad pública y la integridad de operaciones críticas. (DJI, 2013)

Figura 17

Zonas GEO-Flysafe DJI



Nota. El sistema GEO solo tiene fines de asesoramiento. Cada usuario es responsable de determinar qué leyes o reglamentos podrían aplicarse a su vuelo consultando las fuentes oficiales. DJI no está seguro de si esta guía cumple con las regulaciones específicas de su situación en algunos casos. Fuente de la imagen <https://www.dji.com/global/flysafe/geo-map>

Capítulo 2

Vehículos Aéreos No Tripulados Aplicados A La Ingeniería

En este capítulo se aborda una exploración exhaustiva de las aplicaciones de los UAV en la ingeniería, abarcando su clasificación en función del uso y su impacto transformador en distintos sectores. Comenzamos clasificando meticulosamente los UAV según sus aplicaciones específicas, destacando los distintos ámbitos en los que estos UAV están teniendo un profundo impacto. Desde los drones con objetivo y señuelo hasta los drones civiles y comerciales, profundizamos en el papel fundamental que desempeña cada categoría en la ingeniería contemporánea.

A continuación, nos adentramos en un análisis profundo de los UAV disponibles en el mercado actual, detallando minuciosamente sus especificaciones técnicas, capacidades y posibles aplicaciones de ingeniería. Exploramos cómo se están utilizando estas aeronaves innovadoras para abordar desafíos complejos, optimizar procesos y mejorar la seguridad en varios campos de la ingeniería.

Para fundamentar el poder transformador de los UAV, presentamos ejemplos concretos de su impacto en diversas aplicaciones de ingeniería. Desde la inspección de topografía e infraestructura hasta el monitoreo ambiental y la gestión de desastres, los UAV están revolucionando la obtención y el análisis de datos, permitiendo a los ingenieros tomar decisiones informadas con una precisión y eficiencia sin precedentes.

2.1 Clasificación según uso o aplicación

De acuerdo con el uso o aplicación, Los drones se clasifican en seis categorías funcionales: drones objetivo y señuelo, drones de reconocimiento, drones de combate, drones de logística, drones de investigación y desarrollo y drones para uso civil y comercial. (González, Martínez, Bueno, & Arias, 2017). Los UAS civiles y comerciales son los utilizados por operadores dedicados

diferentes aplicaciones, las aplicaciones de los UAS abarcan áreas como el mantenimiento de infraestructuras, la agricultura de precisión, la topografía y la logística. Se destaca que los sistemas de ala fija tienen una mayor duración de vuelo, mientras que los sistemas de multirrotor ofrecen una mayor carga útil y agilidad. Utilizando una variedad de sensores pasivos y activos, las aplicaciones de teledetección de UAS son cruciales para muchos de los principales mercados.

Los VANT se clasifican en diversas categorías según su uso o aplicación. Algunas de las categorías más comunes y estas categorías no son enfocadas solo al uso de las ingenierías pues en su mayor parte tienen un uso militar este es el campo en el que más se han venido utilizando, su enfoque de eso también lo podemos reorientar en las ingenierías como lo son el reconocimiento, a logística y la investigación y el desarrollo estas son categorías que incluyen a las ingenierías categorías como combate, objetivos y señuelo por obviedad son exclusivamente militares:

2.1.1 UAV objetivo y señuelo

Los UAV objetivo, mediante su capacidad para simular amenazas reales como aviones, misiles o drones enemigos, se convierten en herramientas para el entrenamiento militar. Su implementación permite a los operadores de sistemas de defensa aérea y combate perfeccionar sus habilidades en escenarios realistas, recreando situaciones de combate y evaluando su capacidad de respuesta ante diferentes tácticas enemigas. Además, la posibilidad de equiparlos con sistemas de contramedidas que repliquen las maniobras evasivas del adversario, eleva aún más el nivel de entrenamiento y su efectividad en el campo de batalla.

En el ámbito militar y de defensa, los UAV señuelo juegan un papel crucial en la protección de activos valiosos contra ataques hostiles. Su función principal reside en engañar y desviar la atención de los sistemas de defensa aérea enemigos, creando objetivos falsos que simulan la apariencia y el comportamiento de aeronaves reales, incluyendo firmas radar y térmicas. Esta

capacidad de señuelo permite blindar infraestructuras críticas como bases militares o centros de comando, reduciendo significativamente su vulnerabilidad ante ataques aéreos.

Las aplicaciones de los UAV objetivo y señuelo van más allá del entrenamiento militar. En el contexto de la guerra electrónica, estos drones pueden emplearse para perturbar las comunicaciones y los radares enemigos, obteniendo una ventaja táctica crucial en el campo de batalla. Asimismo, son útiles para simular amenazas en el desarrollo de sistemas de defensa aérea, permitiendo identificar posibles brechas de seguridad y optimizar las contramedidas existentes.

2.1.2 Reconocimiento

Los UAV de reconocimiento están equipados con una variedad de sensores avanzados, como cámaras de alta resolución, radares y sensores infrarrojos. Estos sensores permiten a los drones recopilar información precisa sobre su entorno, incluso en situaciones con visibilidad limitada o clima desfavorable. Los datos recopilados se envían inmediatamente a los operadores en tierra, quienes los analizan para conocer la situación y tomar decisiones informadas.

Los UAV de reconocimiento se utilizan con fines de vigilancia y monitoreo, cubriendo áreas de interés como bases militares, zonas de combate, regiones afectadas por desastres naturales, monitoreo de zonas naturales y monitoreo de diferentes especies animales. Su capacidad para funcionar en entornos desafiantes o peligrosos los convierte en plataformas perfectas para recopilar datos de inteligencia y producir información vital para evaluar situaciones y tomar decisiones rápidas.

Después de incidentes como calamidades naturales o conflictos, los UAV de reconocimiento ayudan a evaluar los daños y dirigir las iniciativas de recuperación. Su capacidad de ver desde arriba permite identificar áreas afectadas, infraestructura crítica y necesidades de

asistencia, lo que ayuda a optimizar la respuesta de emergencia y ayuda en la planificación de acciones de ayuda humanitaria.

En el sector militar, los UAV de reconocimiento son esenciales para monitorear objetivos como tropas o vehículos enemigos, ofreciendo datos en tiempo real sobre su paradero, movimiento y acciones. Este conocimiento es crucial para dirigir los ataques con precisión, mantenerse alejado de regiones peligrosas y salvaguardar las tropas.

En el monitoreo de diferentes especies animales tenemos como uso y aplicación, La investigación que se realizó en cuatro fincas ubicadas en el municipio., en el oriente antioqueño de Colombia se utilizó el UAV DJI Phantom 3 con cámara de alta resolución y movimiento a tres ejes para capturar imágenes aéreas en diferentes momentos del día, sin un protocolo de vuelo específico, pero manteniendo una distancia mínima de 15 metros para no estresar a los animales. Las imágenes fueron etiquetadas manualmente con DarkLabel V.1.3 para identificar la ubicación de las vacas, generando una base de datos de 13,346 imágenes. Se empleó el detector de objetos YOLO V2, entrenado con etiquetas, para desarrollar un sistema de detección automática de ganado bovino en tiempo real. Los resultados mostraron una precisión del 82% y una sensibilidad del 75% en las etapas de prueba y validación, demostrando el potencial de esta tecnología para la vigilancia y monitoreo en el sector ganadero. El estudio reitera que se requiere investigación adicional para optimizar el sistema y hacerlo más robusto (Bedoya y Castrillón 2019).

2.1.2.1 Búsqueda y Rescate. Las operaciones de Búsqueda y Rescate (Search and Rescue, SAR) se refieren a las actividades destinadas a localizar y asistir a personas en peligro o en situaciones críticas durante emergencias o desastres. Estas operaciones implican la búsqueda de individuos desaparecidos, atrapados o heridos en entornos como áreas remotas, zonas afectadas por desastres naturales, accidentes aéreos, naufragios, entre otros escenarios.

En el contexto de los UAV, las operaciones SAR se benefician de la capacidad de estos dispositivos para proporcionar una perspectiva aérea y acceso a zonas de difícil acceso de manera rápida y eficiente. Los drones pueden desempeñar diversas funciones en estas operaciones, como la búsqueda visual de personas, la entrega de suministros de emergencia, la evaluación de daños desde el aire, entre otras tareas que contribuyen a las labores de búsqueda y rescate. (Shakhatreh, et al. 2019)

2.1.3 Combate

Los UAV de combate, también conocidos como drones militares o drones de combate, están diseñados específicamente para atacar y eliminar objetivos enemigos. Estos drones pueden equiparse con misiles, bombas u otras municiones y se utilizan diverso espectro de misiones, como:

Los UAV de combate atacan contra objetivos enemigos, incluidas bases militares, vehículos blindados y puestos de combate. Su capacidad para funcionar de forma autónoma y sin necesidad de intervención humana los convierte en una opción atractiva para minimizar las bajas en situaciones de combate.

Ciertos drones de combate están equipados con sistemas de guerra electrónica que pueden interrumpir las comunicaciones y los radares del enemigo. Esto puede resultar beneficioso para proteger a los aviones y tropas amigos de los ataques enemigos.

2.1.3.1 Casos específicos del uso de UAV de combate

Guerra de Nagorno-Karabaj (2016): La cooperación militar entre Azerbaiyán e Israel, especialmente en el uso de drones, ha sido un factor determinante en el conflicto de Nagorno-Karabaj. Los drones azeríes, muchos de ellos adquiridos a Israel, demostraron ser una herramienta poderosa en el campo de batalla, inclinando la balanza a favor de Azerbaiyán. Esta colaboración

militar entre ambos países tiene implicaciones políticas que van más allá del conflicto, y podría ser un indicio de cómo se utilizarán nuevos sistemas y la cooperación interestatal en tecnología militar en futuros enfrentamientos. El caso de Azerbaiyán e Israel resalta la importancia de analizar el papel de los drones y otras tecnologías emergentes en la dinámica de los conflictos modernos. (Botta, 2018)

Conflicto en Ucrania (2022-presente): En el conflicto actual en Ucrania, ambos bandos también están utilizando UAV de combate de manera extensiva. Los drones ucranianos han sido utilizados para atacar convoyes rusos, depósitos de municiones y ciudades, mientras que los drones rusos han sido utilizados para atacar objetivos ucranianos, incluyendo aeródromos y bases militares. (Hernández, 2023; Harding, 2024)

Figura 18

Drones usados en los combates de Nagorno-Karabaj y ucrania



Nota. El Harop o kamikaze(izquierda) utilizado en 2016 Nagorno-Karabaj y los UAV Bayraktar TB2(Derecha) utilizados en ucrania 2022 la imagen es tomada del comunicado del ministerio de defensa de Armenia, Armenia (2020), <https://mil.am/en/news/868>

2.1.4 Logística

Los drones de logística al ofrecer soluciones innovadoras que mejoran las operaciones de la cadena de suministro, demuestran capacidad para entregar paquetes de manera rápida y

eficiente, especialmente en zonas de difícil acceso o con tráfico congestionado, los convierte en la opción ideal para el envío de artículos urgentes como medicamentos, repuestos y otros bienes de alto valor.

En el ámbito de los almacenes, los drones agilizan la gestión del inventario, volando entre pasillos y escaneando códigos de barras para actualizar el stock en tiempo real. Esta automatización optimiza la gestión de las existencias, minimiza errores y libera al personal para que se enfoque en tareas más complejas.

En general, los drones aportan mayor eficiencia y rapidez a la logística, reduciendo los tiempos de entrega y optimizando las rutas. Además, contribuyen al ahorro de costos, disminuyendo los gastos asociados al transporte tradicional, el mantenimiento y la mano de obra. Por otro lado, mejoran la seguridad al reducir los riesgos laborales y prevenir accidentes de tráfico. Ejemplos de empresas que utilizan UAV en logística:

Figura 19

Amazon Prime Air



Nota. Estos son los drones que Amazon considera utilizar para hacer sus entregas de paquetes.

Fuente la imagen (El Cronista, 2024)

Figura 20

Zipline



Nota. Entrega de medicamentos y suministros médicos en Ruanda y Ghana, Fuente de la imagen (Zipline, 2016)

Figura 21

Matternet



Nota. Red de Drones para Transporte de suministros en Nepal y Suiza. Fuente (Matternet, 2022)

Figura 22

UPS Flight Forward



Nota. Servicio de entrega de Drones para Empresas. Fuente (UPS, 2020)

Figura 23

DHL Parcelcopter



Nota. Entrega de paquetes en zonas remotas de Alemania. (Heutger, M. and Kückelhaus, M., 2014)

2.1.5 Investigación y desarrollo

Los UAV, sirven en investigación y el desarrollo en múltiples áreas, abarcando desde la exploración ambiental hasta la agricultura de precisión. Su notable capacidad para acceder a lugares remotos, recopilar datos precisos y ejecutar tareas complejas de forma autónoma los ha convertido en herramientas para científicos, investigadores e ingenieros de diversas disciplinas. Estos dispositivos permiten estudiar ecosistemas con mayor detalle, monitorear el cambio climático de manera eficiente, optimizar el uso de recursos en la agricultura, documentar sitios arqueológicos con precisión, realizar tareas de búsqueda y rescate de manera eficaz y llevar a cabo investigaciones científicas en diversos campos. Los UAV abren un mundo de posibilidades al brindar acceso a lugares antes inaccesibles, mejorar la eficiencia en la recolección de datos y ofrecer perspectivas únicas que impulsan el avance científico y tecnológico.

2.1.6 Aplicaciones civiles y comerciales

Los ingenieros obtienen información precisa sobre los sitios del proyecto, la infraestructura y los entornos naturales a través de videos, imágenes y otros datos de alta resolución capturados

por UAVs utilizando una variedad de sensores. Una mejor comprensión del terreno, las estructuras y los procesos resulta de esta información rica, facilita decisiones estratégicas e informadas.

Los UAVs pueden realizar estudios e inspecciones mucho más rápido que los métodos convencionales, lo que reduce los plazos y los costos del proyecto. Su capacidad para acceder a áreas difíciles elimina la necesidad de costosos equipos y personal especializado, lo que optimiza los recursos y agiliza los procesos. Esto resulta en proyectos más productivos, rentables y oportunos.

2.1.6.1 Civiles. Los UAVs han demostrado ser herramientas versátiles y adaptables en diversos campos de la ingeniería, ofreciendo soluciones innovadoras para una amplia gama de aplicaciones:

1. Construcción e infraestructura:

- Estudios de sitios: Evaluación de terrenos y condiciones antes de la construcción.
- Monitoreo de progreso: Seguimiento del avance de las obras en tiempo real.
- Inspecciones estructurales: Detección de daños, defectos o fallas en estructuras.
- Mapeo de proyectos: Creación de modelos 3D para diseño.

2. Ingeniería civil:

- Mapeo del terreno: Generación de mapas topográficos precisos para planificación y desarrollo.
- Monitoreo de la erosión: Evaluación del desgaste del suelo y riesgos asociados.
- Evaluación del riesgo de inundaciones: Identificación de áreas susceptibles a inundaciones.
- Inspección de infraestructura: Revisión del estado de puentes, carreteras, represas y otras estructuras.

3. Ingeniería ambiental:

- Monitoreo ambiental: Evaluación del impacto ambiental de proyectos
- Evaluación de la contaminación: Análisis de la calidad del aire, agua y suelo.

- Planificación del uso de la tierra: Optimización del uso del suelo para fines sostenibles.
- Estudios de vida silvestre: Monitoreo de poblaciones y hábitats de animales y plantas.

4. Minería y topografía:

- Exploración minera: Identificación de depósitos minerales potenciales.
- Mapeo topográfico: Creación de mapas detallados de terrenos mineros.
- Estimación de volumen: Cálculo preciso de la cantidad de material en un sitio minero.
- Monitoreo de sitios mineros: Seguimiento de la actividad minera y su impacto ambiental.

5. Agricultura de precisión:

- Seguimiento de cultivos: Monitoreo del estado de salud y crecimiento de los cultivos.
- Gestión del riego: Optimización del uso del agua para un riego eficiente.
- Estimación del rendimiento: Predicción de la producción agrícola esperada.
- Detección de plagas y enfermedades: Identificación temprana de amenazas a los cultivos.

6. Ingeniería geotécnica:

- Mapeo de características geológicas: Identificación de fallas, fracturas y otros elementos geológicos.
- Evaluación de riesgos de deslizamientos de tierra: Análisis de la estabilidad del terreno.
- Análisis de las propiedades del suelo: Estudio de la composición del suelo.
- Monitoreo de la deformación del suelo: Detección de movimientos o deformaciones del terreno.

2.1.6.2 Comerciales. Para los usos comerciales se tienen los UAVs recreativos, también conocidos como drones de hobby, han ganado mucha popularidad recientemente, convirtiéndose

en la opción ideal para aficionados a la tecnología, la fotografía y las actividades al aire libre. Su tamaño compacto, precio asequible y facilidad de uso los hacen accesibles a un público amplio.

1. Fotografía aérea y videografía

Los UAVs recreativos ofrecen una oportunidad sin precedentes para capturar imágenes y videos desde perspectivas únicas, expandiendo las posibilidades de la fotografía y la videografía. Ya sea para capturar paisajes impresionantes, eventos deportivos emocionantes o simplemente recuerdos personales, estos drones permiten obtener tomas espectaculares que antes eran difíciles o imposibles de lograr.

2. Carreras de drones

Las carreras de drones han surgido como un deporte emergente que combina adrenalina, tecnología y habilidades de pilotaje. Los competidores ponen a prueba sus destrezas controlando sus drones a través de circuitos desafiantes, volando a altas velocidades y realizando maniobras acrobáticas. Este deporte de rápido crecimiento atrae a entusiastas de todo el mundo que buscan una experiencia emocionante y llena de desafíos. Una de las disciplinas más destacadas son Las carreras de drones FPV (First Person View) es un deporte que combina velocidad, habilidad y tecnología. Los pilotos en estas competencias manejan drones con cámaras que transmiten videos en directo a través de gafas especiales que llevan puestas. Los pilotos pueden realizar maniobras acrobáticas y superar obstáculos a gran velocidad al sentirse como si estuvieran dentro del dron, en Colombia existe una liga competitiva en Drones FPV. (LCDR, 2023).

3. Vuelo libre

Para aquellos que simplemente buscan disfrutar de la sensación de volar y explorar el entorno desde una vista aérea, los UAVs recreativos ofrecen una experiencia inigualable. Realizar

maniobras acrobáticas, volar sobre paisajes impresionantes o simplemente disfrutar de la libertad de movimiento en el aire son algunas de las posibilidades que brindan estos drones.

2.2 Vehículos Aéreos no tripulados que se encuentran en el mercado

Actualmente hay muchos disponibles en el mercado, con características y capacidades que varían según las necesidades específicas de cada aplicación, otros que han sido descontinuados, pero en la siguiente tabla se dejan algunos de los más relevantes por su uso, Algunos de los VANT más populares para aplicaciones de ingeniería y otras áreas:

Tabla 1

UAV en el mercado

Nombre del UAV	Marca	Características de uso en las ingenierías	Capacidades	Disponibilidad en el mercado	Salida a la venta
Dron Walkera FPV	Walkera	- Dronaje FPV - Carreras de drones - Acrobacias aéreas	- Cámara FPV de 1080p - Vídeo en directo - Gafas FPV - Alcance de hasta 1 km – Duración de vuelo de hasta 8 minutos	En producción	2014
DJI Phantom 3 Profesional	dji	- Fotogrametría - Modelado 3D - Inspección de infraestructuras - Monitoreo ambiental	- Cámara de 12 megapíxeles - Vídeo 4K a 30 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 5 km - Duración del vuelo de hasta 23 minutos	Discontinuado (2017)	2015
Loro Bebop 2	Loro	- Foto y vídeo aéreos - Vuelos recreativos - Monitoreo básico	- Cámara de 14 megapíxeles - Vídeo 1080p a 30 fps - Estabilización de imagen de 3 ejes - Alcance de hasta 2 km - Duración del vuelo de hasta 25 minutos	Discontinuado (2018)	2015
3D Robótica En solitario	Robótica 3D	- Fotogrametría - Mapas aéreos - Inspección de infraestructuras	- Cámara intercambiable (hasta 25 megapíxeles) - Vídeo 4K a 30 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 5 km - Duración del vuelo de hasta 30 minutos	Discontinuado (2018)	2015
DJI Phantom 4 Pro V2.0**	dji	- Fotogrametría y topografía - Inspección de infraestructuras - Monitoreo ambiental - Búsqueda y rescate	- Cámara de 20 megapíxeles - Vídeo 4K a 60 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 7 km - Duración del vuelo de hasta 30 minutos	Amplia disponibilidad en línea y en tiendas físicas	2016
DJI inspirar 2	dji	- Fotogrametría de alta precisión - Inspección de infraestructuras críticas - Cine y fotografía aérea profesional	- Sistema de cámara intercambiable (hasta 5.2K) - Vídeo 4K a 60 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 7 km - Duración del vuelo de hasta 27 minutos	Descatalogado (2021)	2016
Microdrones MD4-200	Microdrones	- Inspección de infraestructuras interiores - Búsqueda y rescate en espacios reducidos - Monitoreo de activos	- Cámara de alta resolución - Iluminación LED - Autonomía de hasta 20 minutos - Vuelo en espacios reducidos	Descatalogado (2021)	2016
DJI Mavic Pro	dji	- Fotogrametría básica - Inspección de infraestructuras a pequeña escala - Cine y fotografía aérea	- Cámara de 21 megapíxeles - Vídeo 4K a 30 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 7 km - Duración del vuelo de hasta 27 minutos	Descatalogado (2021)	2016

Fantasma 4 RTK	dji	- Fotogrametría de alta precisión - Inspección de infraestructuras - Monitoreo ambiental - Búsqueda y rescate	- Cámara de 20 megapíxeles - Vídeo 4K a 60 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 7 km - Duración del vuelo de hasta 30 minutos - Sistema RTK para precisión centimétrica	Amplia disponibilidad en línea y en tiendas físicas	2016
DJI chispa	dji	- Fotogrametría básica - Inspección de infraestructuras a pequeña escala - Búsqueda y rescate en áreas compactas	- Cámara de 1080p - Vídeo 1080p a 30 fps - Gimbal de 2 ejes - Alcance de hasta 2 km - Duración del vuelo de hasta 16 minutos	Discontinuado (2017)	2017
Brisa de Yuneec	Yuneec	- Foto y vídeo aéreos - Selfies aéreos - Vuelos cortos y sencillos	- Cámara de 4K - Vídeo 4K a 30 fps - Estabilización de imagen de 3 ejes - Alcance de hasta 1 km - Duración del vuelo de hasta 13 minutos	Discontinuado (2017)	2017
Loro Anafi	Loro	- Inspección de infraestructuras - Monitoreo de cultivos - Búsqueda y rescate - Cine y fotografía aérea	- Cámara de 21 megapíxeles - Vídeo 4K HDR a 60 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 4 km - Duración del vuelo de hasta 25 minutos	Disponible en algunas tiendas y en línea.	2018
SenseFly eBeeX	SenseFly	- Fotogrametría a gran escala - Mapeo de alta precisión - Creación de modelos 3D - Monitoreo de obras	- Cámara de 35 megapíxeles - Vídeo 1080p - Alcance de hasta 35 km - Duración del vuelo de hasta 90 minutos	Disponible en algunas tiendas y en línea.	2019
Autel Robótica Robótica X6	Robótica Autel	- Fotogrametría y mapeo a gran escala - Inspección de infraestructuras - Monitoreo de agricultura	- Cámara de 5.1K - Vídeo 5.1K a 30 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 6 km - Duración del vuelo de hasta 30 minutos	Discontinuado (2022)	2019
Autel Robótica X-Star Premium	Robótica Autel	- Fotogrametría y topografía - Inspección de infraestructuras - Monitoreo de seguridad pública - Búsqueda y rescate	- Cámara de 50 megapíxeles - Vídeo 8K a 5 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 16 km - Duración del vuelo de hasta 60 minutos	Disponible en algunas tiendas y en línea.	2020
DJI Mini 2	dji	- Fotogrametría básica - Inspección de infraestructuras a pequeña escala - Búsqueda y rescate en áreas compactas	- Cámara de 12 megapíxeles - Vídeo 4K a 30 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 10 km - Duración del vuelo de hasta 31 minutos	Amplia disponibilidad en línea y en tiendas físicas	2020
DJI Matriz 300 RTK	dji	- Fotogrametría de alta precisión - Inspección de infraestructuras críticas - Monitoreo de seguridad pública - Búsqueda y rescate en áreas extensas	- Sistema de cámara modular con opciones de hasta 64MP - Vídeo 4K a 60 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 15 km - Duración del vuelo de hasta 46 minutos	Disponible en algunas tiendas y en línea.	2020
Skydio 2	Skydio	- Inspección de infraestructuras - Monitoreo de construcción - Cine y fotografía aérea - Búsqueda y rescate	- Cámara de 12,3 megapíxeles - Vídeo 4K a 60 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 6 km - Duración del vuelo de hasta 35 minutos	Disponible en algunas tiendas y en línea.	2021
Powereye Xplorer 4K	ojo de poder	- Fotogrametría básica - Inspección de infraestructuras a pequeña escala - Monitoreo ambiental	- Cámara de 4K - Vídeo 4K a 30 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 8 km - Duración del vuelo de hasta 25 minutos	Disponible en línea y en tiendas selectas	2021
Autel Robótica EVO II Pro	Robótica Autel	- Fotogrametría de alta precisión - Inspección de infraestructuras - Monitoreo de agricultura - Cine y fotografía aérea	- Cámara de 6K - Vídeo 6K a 30 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 9 km - Duración del vuelo de hasta 40 minutos	Disponible en línea y en tiendas selectas	2021
Trabajo del loro Anafi	Loro	- Inspección industrial detallada - Monitoreo de activos - Análisis de datos - Búsqueda y rescate en interiores	- Cámara giratoria de 180° con resolución 4K - Sensor de gas - Software de análisis de datos - Alcance de hasta 4 km - Duración del vuelo de hasta 25 minutos	Disponible en algunas tiendas y en línea.	2021

Skydio 2+	Skydio	- Inspección de infraestructuras - Monitoreo de seguridad pública - Búsqueda y rescate - Cine y fotografía aérea	- Cámara de 12.3 megapíxeles - Vídeo 4K a 60 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 6 km - Duración del vuelo de hasta 35 minutos	En producción	2021
DJI Mini 3 Pro	dji	- Fotogrametría básica - Inspección de infraestructuras a pequeña escala - Búsqueda y rescate en áreas compactas	- Cámara de 12.3 megapíxeles - Vídeo 4K a 60 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 15 km - Duración del vuelo de hasta 46 minutos	Amplia disponibilidad en línea y en tiendas físicas	2021
Mavic 3 Enterprise	dji	- Inspección de infraestructuras - Monitoreo de seguridad pública - Búsqueda y rescate - Fotografía aérea termográfica	- Cámara de 20 megapíxeles - Vídeo 4K a 60 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 15 km - Duración del vuelo de hasta 46 minutos	Disponible en línea y en tiendas selectas	2022
Autel Robótica EVO II Dual	Robótica Autel	- Fotogrametría de alta precisión - Inspección de infraestructuras - Monitoreo de agricultura - Cine y fotografía aérea	- Cámaras duales (6K + 12MP) - Vídeo 6K a 30 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 9 km - Duración del vuelo de hasta 40 minutos	En producción	2022
DJI Mini 4 Pro	dji	Fotogrametría básica - Inspección de infraestructuras a pequeña escala - Búsqueda y rescate en áreas compactas	- Cámara de 1/1.3" CMOS con 24 megapíxeles - Vídeo 4K/60 fps y 2.7K/30 fps - Gimbal de 3 ejes - Alcance de hasta 20 km (12.4 mi) - Duración del vuelo de hasta 45 minutos (con batería Plus) - Sistema de transmisión OcuSync 3.0 - Sensores de obstáculos en tres direcciones	Disponible a partir de marzo de 2024	2024

Nota. La tabla es de Recopilación de información, Alguno de los UAV que se encuentran en la tabla ya han sido nombrados en el trabajo o su versión mejorada se encuentra en la tabla, pues sus características son las que permiten su buen uso y la capacidad de emplearse en las distintas áreas. La información fue extraída de tiendas virtuales como Amazon, EBay, Aliexpress.

La tabla que se presenta en este trabajo no es una mera compilación de datos, sino una ventana que se abre hacia las amplias posibilidades que ofrecen los UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) en el ámbito de las ingenierías. Cada columna de esta tabla es una pieza clave para comprender el potencial de estas aeronaves no tripuladas y su impacto en diversos campos profesionales.

El nombre del UAV nos permite identificar a cada uno de estos sistemas como entidades únicas, con características y capacidades específicas. La marca nos aporta información sobre el fabricante, su trayectoria y la calidad del producto. Las características de uso en las ingenierías detallan las aplicaciones prácticas de cada UAV en diferentes áreas, desde la inspección de

infraestructuras hasta el mapeo de terrenos. Las capacidades enumeran las especificaciones técnicas del UAV, como su autonomía de vuelo, carga útil y alcance, brindando una idea de su rendimiento potencial. La disponibilidad en el mercado indica si el UAV está actualmente a la venta o si su lanzamiento está previsto para el futuro. Por último, la salida a la venta proporciona una referencia temporal para ubicar el desarrollo tecnológico de cada UAV en el contexto general de la industria.

En conjunto, esta tabla ofrece una visión completa y actualizada del panorama actual de los UAVs en las ingenierías. Son útiles para los ingenieros, investigadores y profesionales que buscan comprender el potencial de estas tecnologías y explorar su aplicación en sus respectivos campos.

Más allá de su valor informativo, la tabla también actúa como base para futuras investigaciones y desarrollos. Al identificar las brechas y oportunidades que existen en el mercado, esta información puede guiar la innovación y el surgimiento de nuevos UAVs con capacidades aún más sofisticadas y aplicaciones aún más amplias.

En definitiva, la tabla que se presenta en este trabajo es un recurso invaluable para comprender el presente y explorar el futuro de los UAVs en las ingenierías. Es una herramienta que invita a la reflexión, la innovación y la colaboración en aras de aprovechar al máximo el potencial de estas tecnologías para el beneficio de la sociedad.

Capítulo 3

Aplicaciones en Ingeniería de los vehículos aéreos no tripulados

En este capítulo, Se examinarán las diversas aplicaciones de los UAV en ingeniería, desde la fotogrametría hasta la inspección de infraestructuras, pasando por la vigilancia y monitoreo, la gestión de emergencias, y el seguimiento ambiental, entre otros aspectos.

Comenzando con la fotogrametría, una técnica que combina la planificación estratégica, la adquisición precisa de datos y el procesamiento avanzado de imágenes para generar modelos 3D detallados y datos geoespaciales valiosos, analizar cómo los VANT se utilizan para capturar imágenes de alta resolución y crear representaciones tridimensionales de terrenos y estructuras.

Además, explorar cómo los VANT se emplean en el modelado en 3D, el seguimiento de obras, la inspección de infraestructuras, la defensa y seguridad, el monitoreo ambiental, y otras áreas de aplicación en ingeniería. Desde la calidad del agua y del aire hasta la gestión de desastres naturales, los UAV están desempeñando un papel crucial en la obtención de datos, la documentación y la toma de decisiones en diversos contextos ingenieriles.

3.1 Fotogrametría

Los vuelos fotogramétricos se caracterizan por ser operaciones meticulosas que combinan la planificación estratégica, la adquisición precisa de datos y el procesamiento avanzado de imágenes para generar modelos 3D detallados y datos geoespaciales de gran valor.

El proceso comienza con la definición del área de interés y la selección del equipo adecuado. Seguidamente, se crea un plan de vuelo detallado que optimiza la cobertura y la superposición de las imágenes y se revisa que se tengan unas condiciones meteorológicas que permitan el uso del dron, posteriormente el UAV sigue el plan establecido, capturando fotografías de alta resolución mientras se monitorea y registra el progreso, se tiene en cuenta que la toma de

imágenes debe estar con una superposición superior o igual al 60% para que los empalmes de las imágenes tengan una mayor precisión.

Figura 24

Plan de vuelo



Nota. Estos planes de vuelo definen la ruta que el Dron va a tomar para hacer las capturas de imágenes, esto se puede realizar en los diferentes programas que se encuentran en el mercado como: DJI Ground Station Pro, Pix4d Capture, UGCS, Mission Planner, Litchi y DroneDeploy, (6 aplicaciones para planificar el vuelo de tu dron, 2017)

Las imágenes capturadas se procesan meticulosamente para corregir distorsiones, mejorar la calidad y extraer puntos de interés homólogos. Estos puntos sirven como base para la reconstrucción 3D, generando una nube de puntos densa y mallas poligonales que representan la superficie y las características del terreno.

A partir del modelo 3D reconstruido, se generan ortofotografías georreferenciadas, mapas de elevación y otros productos finales que se utilizan en diversas aplicaciones, como la planificación de proyectos, el monitoreo de obras, el estudio topográfico, la gestión de recursos, la arqueología y la realidad virtual.

En el estudio realizado por Peña y Arévalo (2023), se destaca que la fotogrametría con UAV es una técnica eficiente para realizar levantamientos topográficos a gran escala y en áreas de

difícil acceso, complementando la topografía clásica en lugares con vegetación densa. Además, se menciona que la fotogrametría con UAV se puede utilizar como una alternativa fiable en levantamientos topográficos, siempre y cuando se garantice la precisión de los datos obtenidos y se utilicen algoritmos adecuados para el filtrado de puntos.

3.2 Modelados en 3D

Para realizar un modelado 3D con drones de manera efectiva, es fundamental seguir una serie de pasos cruciales que abarcan la planificación del vuelo, la captura de datos y el procesamiento de los mismos.

En la etapa de planificación del vuelo, resulta indispensable definir el objetivo del modelado 3D, ya sea para arquitectura, ingeniería, construcción, agricultura o cualquier otra aplicación específica. Esto permitirá establecer los parámetros adecuados para la captura de datos. Posteriormente, se debe seleccionar el dron y la cámara idóneos, considerando el tamaño del área a modelar, la resolución requerida y el presupuesto disponible. En este sentido, es importante evaluar la calidad de la cámara, la estabilización de la imagen y la capacidad de superposición de las imágenes. Un aspecto fundamental es planificar la ruta de vuelo, utilizando un software especializado para tal fin. Esto implica definir puntos de referencia, altitud de vuelo, velocidad y el grado de superposición de las imágenes, garantizando una cobertura completa y precisa del objeto o área objetivo. Es importante verificar las regulaciones locales sobre el uso de drones y obtener los permisos necesarios para volar en el área seleccionada como las que se pueden observar en las Zonas GEO (DJI, 2013). En la fase de captura de datos, se recomienda realizar el vuelo en condiciones climáticas favorables, con cielos despejados, buena iluminación y viento mínimo (Chimborazo y Espejo, 2021). Durante el vuelo, el dron debe capturar imágenes con suficiente superposición, alrededor del 60-80%, para garantizar una reconstrucción precisa del modelo 3D.

Además, es importante capturar imágenes desde diferentes ángulos y alturas para obtener una cobertura completa del objeto o área objetivo. En la etapa de procesamiento de datos y generación del modelo 3D, se utiliza un software de fotogrametría para procesar las imágenes capturadas y generar una nube de puntos densa que representa la forma tridimensional del objeto o área (Chimborazo Villalta, F. P., & Espejo Navas, M. A. 2021). Posteriormente, se realiza la alineación y calibración de las imágenes para corregir distorsiones y superponerlas correctamente. Se crea una malla poligonal a partir de la nube de puntos que representa la superficie del objeto. Para obtener un modelo realista, se aplica textura a la malla 3D utilizando las imágenes originales. Finalmente, el modelo 3D se refina y edita manualmente para eliminar imperfecciones, agregar detalles y mejorar la calidad general (Juárez et al. 2022).

3.3 Seguimiento de obras

El seguimiento de obra por medio de dron se ha vuelto una herramienta popular para el monitoreo y control de proyectos, ofreciendo información precisa, oportuna y visualmente atractiva para mejorar la eficiencia, la seguridad y la comunicación en las obras.

El seguimiento de obra con drones implica un proceso sistemático que abarca desde la planificación y preparación hasta la comunicación y seguimiento continuo. En la etapa inicial, se definen los objetivos del seguimiento, se obtienen los permisos necesarios y se selecciona el equipo adecuado. La planificación de los vuelos es crucial para garantizar una cobertura completa y precisa de la obra, considerando rutas de vuelo, altitud, ángulos de captura y superposición de imágenes. La captura de datos se realiza durante vuelos en condiciones climáticas favorables, utilizando el dron para capturar imágenes y videos con la superposición adecuada. Es importante documentar las condiciones del vuelo para cada toma. (Chimborazo y Espejo, 2021). Las imágenes capturadas se procesan mediante software de fotogrametría, generando nubes de puntos densas y

modelos 3D precisos de la obra. Estos modelos se analizan comparándolos con planos de obra o modelos anteriores para identificar el avance de la construcción, detectar desviaciones o problemas estructurales. La información obtenida se sintetiza en informes y presentaciones visuales que se comparten con las partes interesadas.

El uso de drones en el seguimiento de obras mejora la gestión de proyectos de construcción. Permite una mejor monitorización y control del proyecto, identificando desviaciones o problemas en etapas tempranas y reduciendo costos y tiempos. Además, mejora la seguridad en la obra al hacer posible la identificación de riesgos potenciales y la adopción de medidas preventivas. Facilita la comunicación y colaboración entre las partes interesadas, fomentando la toma de decisiones conjunta. Finalmente, proporciona un registro detallado del proyecto, útil para análisis posteriores, evaluaciones y presentaciones.

3.3.1 Inspección de infraestructura

Los drones pueden realizar inspecciones detalladas de estructuras elevadas, como grúas, torres de alta tensión o puentes, sin necesidad de andamios o trabajos en altura de riesgo. Esto reduce significativamente los costos y riesgos asociados a las inspecciones tradicionales, además de mejorar la exactitud y la eficiencia de la evaluación del estado de la infraestructura.

Aplicación, Monitorear el avance de la obra: Se realizan vuelos diarios para capturar imágenes y videos de alta resolución que permiten a los supervisores evaluar el progreso de las diferentes etapas de la construcción, Identificar retrasos en el cronograma y aplicar medidas correctivas.

Aplicación, Inspeccionar túneles y puentes en construcción: Los drones con sensores LiDAR se utilizan para inspeccionar la estructura interna de túneles y puentes en construcción,

identificando posibles fallos o defectos en la construcción y permitiendo tomar medidas preventivas para asegurar la seguridad y calidad de las obras.

3.3.2 Recopilación de datos y documentación

Los drones pueden capturar datos georreferenciados de alta precisión, como imágenes, videos y datos LIDAR, útiles para planos, modelos 3D y análisis de terreno. Esta información es valiosa para el seguimiento del avance de la obra, la identificación de zonas problemáticas y la toma de decisiones

Aplicación, Documentar el estado de la obra: Los datos recopilados por los UAV se utilizan para generar informes sobre el avance de la obra, el estado de la infraestructura y los posibles riesgos de seguridad, ayudando a la gerencia del proyecto en la toma de decisiones.

3.4 Defensa y seguridad

El sector de la construcción civil es dinámico y requiere garantizar la seguridad de personas e instalaciones. Los drones han surgido como una herramienta clave para mejorar la defensa y seguridad en obras civiles.

3.4.1 Vigilancia y monitoreo

Los drones equipados con cámaras de alta resolución y sensores permiten una vigilancia constante de las obras, tanto durante el día como la noche. Esta capacidad facilita la detección de intrusiones, actividades no autorizadas o daños a la propiedad, permitiendo una respuesta oportuna por parte del personal de seguridad.

3.4.2 Gestión de emergencias

En caso de accidentes, derrumbes u otros eventos de emergencia, los drones pueden proporcionar información crucial para la evaluación de la situación, el rescate de víctimas y la

coordinación de las tareas de emergencia. La perspectiva aérea que ofrecen los drones permite una mejor comprensión del panorama general y facilita la toma de decisiones oportunas.

3.4.3 Control de acceso y perímetro

Los drones pueden utilizarse para controlar el acceso a las obras, identificando personas o vehículos no autorizados y alertando al personal de seguridad. Además, pueden vigilar el perímetro de la obra para prevenir robos, vandalismo u otras actividades delictivas.

Aplicación, Vigilar la seguridad del personal y la maquinaria: Los UAV equipados con cámaras térmicas son empleados para vigilar las áreas de trabajo durante la noche, detectando la presencia de intrusos o actividades sospechosas y alertando al personal de seguridad.

3.5 Monitoreo ambiental

Los drones han transformado el monitoreo ambiental, facilitando la recopilación de datos de forma rápida y segura. Los drones brindan una visión única y detallada del medio ambiente, distinta a los métodos terrestres o satelitales. Esto permite a los expertos obtener información clave sobre diversos parámetros ambientales. El monitoreo ambiental con UAV abarca diversas aplicaciones:

3.5.1 Calidad del Aire

Los UAV con sensores de gases miden contaminantes como el NO₂, SO₂ y partículas, identificando fuentes de contaminación y apoyando el control ambiental.

3.5.2 Calidad del Agua

Los UAV evalúan la calidad del agua en cuerpos hídricos midiendo turbidez, clorofila y salinidad. Es esencial para gestionar recursos hídricos, prevenir contaminación y proteger ecosistemas acuáticos.

3.5.3 Deforestación y la Cobertura Forestal

Los UAV pueden mapear la cobertura forestal y detectar la deforestación en tiempo real, proporcionando información vital para la conservación de los bosques, la lucha contra la tala ilegal y la gestión sostenible de los recursos forestales. (Orquera, E.I., 2020)

3.5.4 Vida Silvestre

Los UAV equipados con cámaras de alta resolución y sensores térmicos pueden rastrear y monitorear la vida silvestre, proporcionando información sobre su distribución, abundancia, comportamiento y estado de salud. Es útil para conservar especies en peligro y gestionar áreas protegidas.

3.5.5 Desastres Naturales

Los UAV evalúan daños de desastres naturales, ofreciendo información vital para la respuesta a emergencias y la recuperación.

3.6 Inspección de infraestructuras

El proceso de inspección de infraestructuras con drones exige un enfoque metódico y riguroso para garantizar la obtención de datos confiables, precisos y útiles, se presenta una descripción detallada de las etapas involucradas en este proceso, enmarcadas en un contexto ingenieril y con un estilo propio de un trabajo de grado:

3.6.1 Planificación y Preparación

La inspección debe tener un propósito claro y definido, especificando las estructuras o componentes específicos que se evaluarán. Es fundamental realizar un estudio completo del área a inspeccionar, considerando factores como el clima, la presencia de obstáculos, las zonas de restricción aérea y las regulaciones locales. La planificación de un vuelo seguro y eficiente dependerá de esta información. La elección del UAV y los sensores adecuados se basa en el tipo

de infraestructura, la complejidad de la inspección y los datos necesarios. La captura de datos precisos y de alta calidad será posible con un dron con las características adecuadas. Para cubrir completamente el área de inspección sin omitir puntos críticos, es necesario diseñar rutas de vuelo detalladas. En este punto, la superposición de imágenes y la seguridad durante el vuelo deben tener prioridad absoluta. Para operar el dron dentro del área de inspección, se deben obtener los permisos y autorizaciones correspondientes. Esto garantiza el cumplimiento legal y evita posibles sanciones.

3.6.2 Ejecución de la Inspección

La configuración del UAV y los sensores debe ajustarse para cumplir con el plan de vuelo y los objetivos de la inspección. La correcta ejecución del trabajo y la obtención de datos confiables se garantizan con esta preparación previa. El dron debe despegar y volar siguiendo las rutas de vuelo planificadas y manteniendo una comunicación constante con el piloto en tierra. No debe ignorarse la seguridad durante el vuelo. Se capturan imágenes, videos y datos de alta resolución de sensores durante el vuelo para proporcionar una cobertura completa del área. El análisis posterior se basará en la calidad de estos datos. Es crucial monitorear continuamente el estado del dron, los parámetros de vuelo y la calidad de los datos en tiempo real. Esto permite identificar y corregir cualquier anomalía que pueda afectar la inspección.

3.6.3 Análisis y Post Procesamiento

Los datos del dron se descargan y organizan para su análisis. Esta organización facilita la interpretación y el manejo de datos. El procesamiento de imágenes y videos se lleva a cabo para mejorar la calidad, corregir distorsiones y extraer información relevante. Esto da como resultado una imagen más clara y precisa de la infraestructura inspeccionada. Los datos se analizan minuciosamente para encontrar errores, anomalías o áreas de interés. Para llegar a conclusiones significativas en esta etapa, se requieren habilidades analíticas e interpretativas. Los informes

detallados, que incluyen imágenes, videos y análisis de datos, muestran los resultados de la inspección. La comunicación clara y precisa de los resultados es crucial para la toma de decisiones.

3.6.4 Tipos de infraestructuras que se pueden inspeccionar con drones

Los drones se pueden utilizar para inspeccionar una amplia variedad de infraestructuras, incluyendo:

- **Puentes:** Evaluación del estado del hormigón, la armadura, las juntas de expansión y otros componentes estructurales. (Seo, J., Duque, L., & Wacker, J., 2018).
- **Edificios:** Detección de grietas, fugas, problemas de impermeabilización y daños en la fachada. (Rakha & Gorodetsky, 2018)
- **Torres de energía:** Inspección de líneas eléctricas, torres de alta tensión y componentes eléctricos.
- **Parques eólicos:** Evaluación del estado de las turbinas eólicas, las palas y otros componentes.
- **Tuberías:** Detección de fugas, corrosión, daños y obstrucciones en tuberías de agua, gas y petróleo.
- **Presas:** Inspección de la estructura de la presa, el revestimiento, las compuertas y los sistemas de drenaje.
- **Carreteras:** Evaluación del estado del pavimento, la señalización, los puentes y otros elementos de la infraestructura vial. (Pucha y Zárate. 2020).
- **Ferrocarriles:** Inspección de las vías, los túneles, los puentes y otros componentes de la infraestructura ferroviaria.
- **Áreas mineras:** Monitoreo de la estabilidad de taludes, detección de fugas en depósitos de contención y evaluación del impacto ambiental

3.7 Agricultura de precisión

las aplicaciones de los AUV en este campo, destacando su potencial para transformar la agricultura moderna (Ríos-Hernández, R., 2021).:

3.7.1 Monitoreo del estado del cultivo

Los AUV equipados con sensores multiespectrales e hiperespectrales pueden capturar imágenes detalladas del cultivo, permitiendo evaluar diversos parámetros que inciden en su salud y desarrollo. Esta información es fundamental para:

Seguimiento del crecimiento y vigor: Mediante el análisis de índices de vegetación como el NDVI (Índice de Vegetación Normalizado por Diferencia), se puede monitorear el crecimiento de la biomasa foliar y detectar zonas con desarrollo irregular o posible estrés.

Identificación de estrés hídrico: Los sensores térmicos permiten detectar variaciones en la temperatura foliar, revelando áreas con estrés hídrico que requieren atención inmediata para optimizar el riego.

Detección temprana de plagas y enfermedades: Las imágenes multiespectrales e hiperespectrales pueden revelar patrones de coloración o textura anormales en las hojas, indicando la presencia de plagas, enfermedades o deficiencias nutricionales. Esta detección temprana permite una intervención oportuna y localizada, minimizando el impacto en el rendimiento y la calidad del cultivo.

Evaluación de deficiencias nutricionales: Las deficiencias de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio pueden manifestarse en patrones de coloración específicos en las hojas. Los AUV pueden detectar estas señales, permitiendo aplicar fertilizantes de manera precisa y eficiente.

Análisis de la variabilidad del terreno: Los AUV pueden generar mapas de elevación y topografía del terreno, identificando zonas con pendientes pronunciadas, zonas húmedas o con drenaje deficiente, información crucial para la planificación de actividades agrícolas y la optimización del uso de maquinaria.

3.7.2 Optimización del riego

La gestión eficiente del agua es un desafío crucial en la agricultura moderna. Los AUV equipados con sensores térmicos e hidrométricos pueden (Anjum, M et al 2023):

Determinar las necesidades hídricas específicas de cada zona del campo: Mediante la medición de la temperatura foliar y la evapotranspiración, se pueden generar mapas de humedad del suelo, permitiendo identificar áreas con déficit hídrico y ajustar el riego de manera precisa y localizada.

Planificar y optimizar el uso de sistemas de riego: Los datos recopilados por los AUV pueden integrarse a sistemas de riego automatizados, permitiendo programar el riego de acuerdo a las necesidades específicas de cada zona del campo, evitando el riego excesivo y el desperdicio de agua.

Monitorear la eficiencia de los sistemas de riego: Los AUV pueden evaluar la distribución del agua de riego, identificando zonas con cobertura irregular o fugas en los sistemas de riego, permitiendo optimizar su funcionamiento y reducir las pérdidas de agua.

3.7.3 Manejo de plagas y enfermedades

La detección temprana y el control oportuno de plagas, enfermedades y malezas son esenciales para proteger el rendimiento y la calidad del cultivo. Los AUV ofrecen una herramienta poderosa para (Singh, M., Vermaa, A., & Kumar, V.,2023):

Detección temprana de infestaciones: Las imágenes multiespectrales e hiperspectrales permiten identificar patrones y texturas anormales en las hojas, revelando la presencia de plagas, enfermedades o malezas en etapas tempranas de desarrollo.

Monitoreo de la dinámica de las plagas y enfermedades: Los AUV pueden realizar vuelos periódicos para monitorear la evolución de las plagas y enfermedades, permitiendo tomar decisiones estratégicas de control y evaluar la efectividad de las medidas implementadas.

Aplicación localizada de pesticidas y herbicidas: Los datos recopilados por los AUV pueden utilizarse para generar mapas de riesgo de infestación, permitiendo realizar aplicaciones de pesticidas y herbicidas de manera localizada y eficiente, minimizando el uso de productos químicos y su impacto ambiental.

Reducción del uso de pesticidas: La aplicación precisa de pesticidas solo en las zonas afectadas reduce la cantidad total de químicos utilizados, disminuyendo el riesgo de contaminación ambiental y la resistencia de las plagas a los productos fitosanitarios.

3.7.4 Estimación del rendimiento

Los AUV pueden generar información valiosa para estimar el rendimiento del cultivo antes de la cosecha, permitiendo a los agricultores tomar decisiones oportunas sobre la logística, la comercialización y la gestión de sus recursos:

3.8 Fotografía y filmación aérea

Los drones han dado forma a nuevas técnicas de filmación que amplían las posibilidades narrativas y estéticas del cine. El lenguaje cinematográfico ha sido enriquecido por movimientos de cámara complejos, tomas panorámicas envolventes y perspectivas aéreas inéditas, lo que ha permitido crear experiencias visuales más impactantes y atractivas para el público. Sin embargo, los problemas legales y éticos asociados con el uso de drones para fotografía y filmación aérea deben ser considerados. Para garantizar un uso responsable de esta tecnología, se deben evaluar y regular cuidadosamente la privacidad de las personas, la seguridad del espacio aéreo y el respeto por el medio ambiente.

Capítulo 4

Digitalización de Información UAV para la Ingeniería Civil

En este capítulo, Analizaremos cómo la tecnología UAV se ha vuelto esencial para la generación de información precisa y detallada en el campo de la ingeniería civil.

Desde la captura de datos mediante videos e imágenes aéreas hasta la utilización de diversos sensores para obtener información específica, los UAV están permitiendo a los ingenieros civiles acceder a una amplia gama de datos geoespaciales que son fundamentales para la infraestructura. Analizaremos cómo la digitalización de la información obtenida a través de UAV está optimizando procesos como la inspección de obras, el monitoreo de proyectos, la evaluación de terrenos y estructuras, y la gestión de activos en el ámbito de la ingeniería civil.

Además, examinaremos en profundidad los tipos de datos capturados por los drones, incluyendo imágenes, videos y datos de sensores, y cómo estos datos se procesan y utilizan para aplicaciones específicas en ingeniería civil. Desde la generación de Ortomosaicos y modelos digitales de elevación hasta el análisis de texturas, Los UAV ayudan a los ingenieros civiles en la toma de decisiones y optimización de procesos.

4.1 Datos capturados por drones

Los drones capturan una gran cantidad de datos en forma de imágenes, videos y datos de sensores. Esta información digital se procesa y utiliza para una amplia gama de aplicaciones en ingeniería civil, incluyendo:

4.1.1 Imágenes

Las imágenes capturadas por las cámaras de alta definición de los UAVs son mucho más que simples fotografías. Estas capturas de alta definición que permiten observar el mundo con una precisión y un detalle incomparables.

Una vez que se recopilan las imágenes, se inicia la configuración del bloque fotogramétrico, se extraen características para reconstruir un escena en tres dimensiones. Luego, mediante la triangulación y rasterización de la nube de puntos, se genera un modelo digital de elevaciones o superficie (DSM) y un ortomosaico de la escena registrada. La triangulación de Delaunay se utiliza con frecuencia para crear una red de triángulos irregulares (TIN), a partir de la cual se interpolan los valores de altura para crear un archivo ráster. (Escalante T et al. 2016).

Los archivos ráster, también conocidos como imágenes matriciales, son formatos de archivo esenciales para el procesamiento y el almacenamiento de datos espaciales. Los archivos ráster utilizan una cuadrícula de píxeles en lugar de fórmulas matemáticas para representar entidades como puntos, líneas y polígonos. Cada píxel de la imagen es un pequeño cuadrado que contiene información sobre el color, la elevación u otras características específicas del punto en el espacio.

4.1.1.1 Ortomosaicos. Uniones precisas de imágenes individuales que generan mapas de alta resolución que representan la superficie terrestre con gran precisión, llamando a estas ortofotos y la unión de múltiples ortofotos se le llama Ortomosaicos. Estos Ortomosaicos son esenciales para tareas como la planificación urbana, la agricultura de precisión y la arqueología. (Escalante T et al. 2016).

Figura 25

Ortomosaico de Banyoles

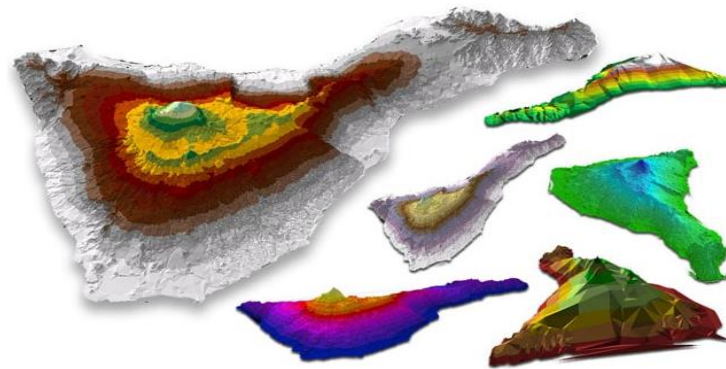


Nota. La imagen del mosaico de Banyoles se crea una vez completado el registro geométrico, la alineación global y el acoplamiento. De hecho, las transiciones entre imágenes son casi invisibles. El cambio en la textura de la superficie del lago es visible sólo en la zona correspondiente a la imagen, donde el agua está ligeramente tensa. El tamaño de la celda es 23740 x 39076 píxeles y la selección es 2000 x 2000 píxeles. Imagen tomada de (Prados et al., 2013) <https://doi.org/10.1016/j.riai.2012.11.010>

4.1.1.2 Modelos Digitales de Elevación. Los MDE se crean utilizando conjuntos de datos ráster, que son cuadrículas de celdas que contienen cada una un valor numérico. Cuando se visualizan en un mapa, los MDE pueden sombreadse para crear un efecto 3D. También pueden utilizarse para calcular otras superficies, como la pendiente y la orientación, definiendo así las curvas de nivel que también se extraen a partir de un modelo de elevación. (ESRI, 2023)

Figura 26

Modelos Digitales de Elevación



Nota. Las dos principales características MDE son la precisión y la resolución horizontal, que reflejan el nivel de detalle en la representación digital. Aunque estas características pueden variar dependiendo del método de generación, los modelos producidos con tecnología LIDAR se destacan por su alta resolución y precisión. (Ferrerías, 2016)

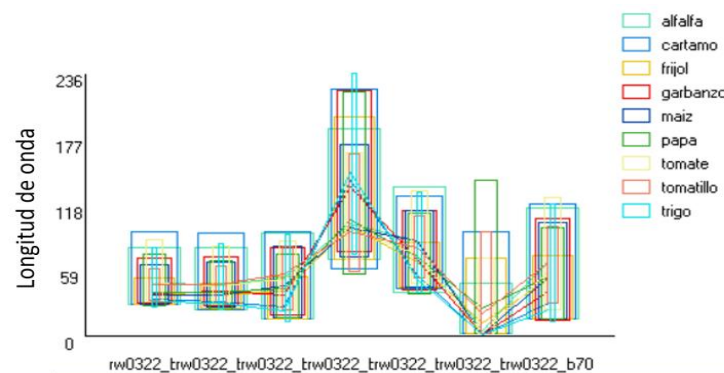
4.1.1.3 Modelos 3D. Representaciones digitales tridimensionales de objetos o entornos contruidos a partir de imágenes superpuestas. Los modelos 3D se utilizan en arquitectura, ingeniería y diseño para visualizar y analizar estructuras complejas, así como para crear experiencias inmersivas en realidad virtual y aumentada.

4.1.1.4 Análisis de Textura. Extracción de información detallada sobre la superficie de un objeto o terreno a partir de las variaciones de color y textura en las imágenes. El análisis de textura se utiliza en geología, agricultura y forense para identificar características y patrones sutiles que

pueden ser invisibles a simple vista. Esto se logra por la recopilación de toda la información del espectro, dejando así una firma espectral por cada elemento o material en la siguiente figura podremos visualizar eso en diferentes cultivos que son comparados.

Figura 27

Cuadro comparativo de firmas espectrales



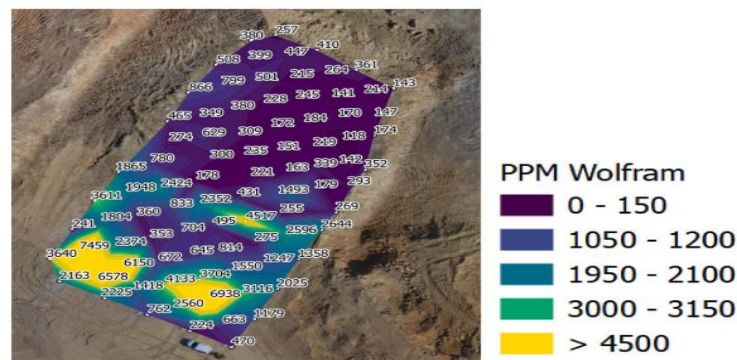
Nota. La clasificación en imágenes multiespectrales se basa en la forma en que los píxeles reflejan la luz en diversas regiones del espectro. Al analizar la combinación de datos en las diferentes bandas espectrales (como se ilustra en el gráfico), se puede diferenciar entre distintos tipos de cultivos. La diversidad en la respuesta espectral de cada cultivo facilita una clasificación precisa, lo que mejora la gestión de recursos agrícolas. Imagen tomada de (Ojeda Bustamante et al. 2016).

Esto también lo podemos ver reflejado no solo en el área agrícola si no en la minera donde Los hallazgos del Proyecto D-Miner (Tejado-Ramos et al., 2021) pueden ayudar a mejorar la localización de minerales de wolframio mientras se minimiza el impacto ambiental al incorporar tecnología de detección remota con drones. Los UAV con sensores multiespectrales permiten obtener información detallada sobre el terreno y minerales de forma más eficiente y menos invasiva que la exploración minera tradicional. Permite identificar la ubicación de los depósitos minerales, lo que a su vez ayuda a planificar y ejecutar operaciones mineras de manera más precisa

y sostenible, reduciendo así el impacto ambiental al minimizar la necesidad de exploración extensiva y la alteración del entorno natural.

Figura 28

Mapa temático que ilustra la concentración de minerales de wolframio



Nota. Mapa de colores para isolíneas en QGIS. Los números muestran la concentración de wolframio en partículas por millón. El mapa tiene una escala de 1:500. (El lector debe dirigirse a la versión en línea de este artículo para entender las referencias al color en la leyenda de esta figura). (Tejado-Ramos et al., 2021)

4.1.2 Vídeos

Los vídeos capturados por los UAVs van más allá de las imágenes estáticas, proporcionando información dinámica sobre el mundo en movimiento. Estos vídeos se utilizan para:

4.1.2.1 Inspecciones. Evaluar el estado de infraestructuras como puentes, edificios y torres de alta tensión, identificando posibles daños o defectos que podrían poner en riesgo la seguridad. Los vídeos de alta resolución permiten a los inspectores detectar grietas, corrosión y otras anomalías con mayor precisión y eficiencia. (Intedig, 2019).

4.1.2.2 Monitoreo. Realizar un seguimiento continuo de áreas de interés, como zonas urbanas, obras de construcción o áreas propensas a desastres naturales. Los vídeos de los UAVs proporcionan información en tiempo real sobre el estado de estas áreas, permitiendo una respuesta rápida a posibles problemas.

4.1.2.3 Análisis de Movimiento. Estudiar el comportamiento de personas, animales u objetos en movimiento. Los vídeos de los UAVs se utilizan en campos como la biología, la etología y el tráfico para comprender mejor los patrones de movimiento y las interacciones en el mundo natural y urbano.

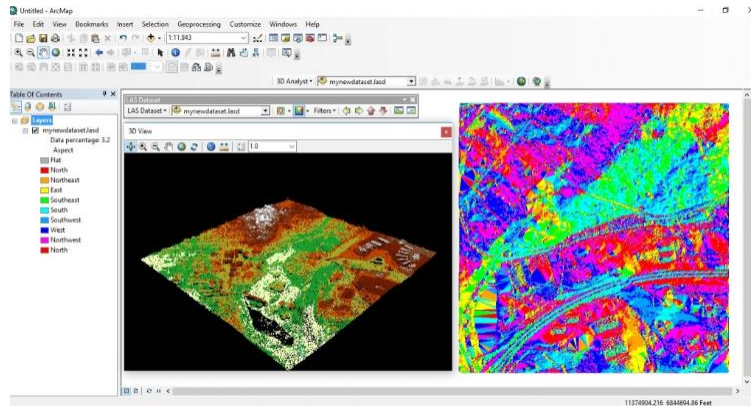
4.1.3 Datos de Sensores

Los UAVs no solo capturan imágenes y vídeos, sino que también pueden equiparse con una amplia gama de sensores que recopilan datos más allá del espectro visible. Estos datos de sensores incluyen:

4.1.3.1 LiDAR (Light Detection and Ranging). Después del procesamiento, los datos LIDAR ordenados espacialmente se colocan en una nube de puntos, esta es una colección de imágenes 3D con atributos x, y, z. y marcas de tiempo de GPS. El láser clasifica características superficiales específicas detectadas después del posprocesamiento de la primera nube de puntos del telémetro láser. Los datos de la nube de puntos incluyen todo lo que encuentra el rayo láser durante el proceso de medición, incluidas alturas del suelo, edificios, cobertura forestal, pasos elevados de autopistas y más. (ArcMap, 2021)

Figura 29

Visualización de datos LiDAR en ArcGIS Desktop



Nota: La imagen nos muestra como se ve el procesamiento de datos en un Programa como Argis, y su respectiva nube de puntos, incluyendo aquí los datos multiespectrales en su lado derecho. (van Rees, 2016)

4.1.3.2 Datos Multiespectrales. Capturan información en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético, lo que permite identificar y analizar características específicas de la superficie terrestre.

4.1.3.3 Termocámaras. Detectan la radiación infrarroja emitida por los objetos, revelando variaciones de temperatura que pueden ser invisibles a simple vista. Las Termocámaras se utilizan para la inspección de edificios, la detección de incendios y la búsqueda y rescate.

4.1.3.4 GNSS (Global Navigation Satellite System). Los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS), como el GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou, se han convertido en elementos esenciales para los UAVs. Estos sistemas satelitales brindan información de ubicación precisa y confiable, lo que permite a los UAVs realizar tareas con una buena autonomía y precisión.

Los drones dependen en gran medida de los GNSS para determinar su ubicación exacta en tiempo real. Esta información es crucial para volar de forma autónoma, siguiendo rutas predefinidas y llegando a puntos de destino específicos con precisión. Los GNSS proporcionan datos de latitud, longitud y altitud, permitiendo que los drones naveguen con eficacia incluso en entornos complejos o con poca visibilidad.

Los datos de GNSS se integran con otros sensores a bordo, como giroscopios y acelerómetros, para estabilizar el vuelo del dron. Esta integración permite que el dron mantenga una actitud nivelada y vuele de manera suave, incluso en condiciones de viento o turbulencias, garantizando una captura de datos precisa y un rendimiento óptimo en las misiones.

Los GNSS son esenciales para la realización de misiones autónomas de drones, donde la aeronave debe planificar y ejecutar su vuelo sin intervención humana. Los drones con GNSS pueden programarse para seguir rutas predefinidas, evitar obstáculos, adaptarse a cambios en el terreno y regresar de manera segura al punto de partida, abriendo un abanico de posibilidades para aplicaciones en diversos sectores.

4.2 Programas para modificar la información digital

Los programas para modificar la información digital adquirida por UAVs, son herramientas fundamentales que permiten aprovechar al máximo estas tecnologías. Estos programas, como los Software de fotogrametría, CAD y GIS, juegan un papel crucial en la transformación de datos brutos en información útil y procesable, la cual a su vez tiene un gran valor para diversas industrias y aplicaciones.

4.2.1 Software de fotogrametría

La fotogrametría crea modelos 3D precisos con fotografías. El software de fotogrametría se utiliza para procesar las imágenes capturadas por los UAVs y generar Ortomosaicos (imágenes

aéreas rectificadas y georreferenciadas), modelos 3D y nubes de puntos (representaciones tridimensionales de puntos). Algunos de los programas de fotogrametría más populares incluyen:

Pix4D: Una solución completa para analizar datos de UAVs. Proporciona herramientas para crear ortomosaicos, modelos 3D, nubes de puntos, analizar datos y generar informes.

Agisoft PhotoScan: software de fotogrametría profesional con alta precisión y flexibilidad. Es usado globalmente para diversas aplicaciones.

DroneDeploy: Plataforma en la nube para gestionar datos de UAVs. Proporciona herramientas para planificación de vuelos, captura y análisis de datos.

4.2.2 Software CAD

El software CAD (Computer-Aided Design) se utiliza para el diseño de ingeniería, la planificación y el análisis de proyectos. Los programas CAD se utilizan para crear modelos 3D detallados que pueden utilizarse para visualizar, analizar y documentar proyectos. Algunos de los programas CAD más populares incluyen:

AutoCAD: Un software CAD de propósito general ampliamente utilizado por ingenieros, arquitectos y diseñadores. Ofrece una amplia gama de herramientas para la creación y edición de modelos 3D.

Civil 3D: Un software CAD especializado en el diseño de infraestructuras, como carreteras, puentes y sistemas de alcantarillado. Ofrece herramientas para la creación de modelos 3D precisos y la realización de análisis de ingeniería.

MicroStation: Un software CAD de propósito general que ofrece una amplia gama de herramientas para la creación y edición de modelos 3D. Es popular en la industria de la construcción y la ingeniería.

4.2.3 Software GIS

El software GIS (Geographic Information System) se utiliza para analizar, visualizar y gestionar datos geográficos. Los programas GIS se utilizan para crear mapas, superponer datos y realizar análisis espaciales. Algunos de los programas GIS más populares incluyen:

ArcGIS: Una plataforma GIS con múltiples herramientas para analizar, visualizar y gestionar datos geográficos. Se usa globalmente en varias aplicaciones.

QGIS: Un software GIS de código abierto gratuito y de gran alcance. Ofrece muchas de las mismas características que ArcGIS y es una opción popular para usuarios que buscan una solución gratuita.

4.3 Aplicaciones de la información digital

El uso de datos digitales, como ortofotos, modelos de elevación y modelos 3D, para optimizar los procesos está revolucionando la ingeniería civil. Se utiliza en las etapas de planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura, ofreciendo ventajas como planificación precisa del sitio, monitoreo del progreso de la construcción, inspección de la infraestructura y análisis de riesgos. La forma en que se diseñan, construye y operan las infraestructuras está siendo transformada por la información digital, lo que las hace más eficientes, precisas y sostenibles.

4.3.1 Ortofotografía, Modelos de Elevación y modelos 3D

La ortofotografía, una técnica que combina la precisión cartográfica con el realismo fotográfico, abre un abanico de posibilidades en diversos ámbitos. A continuación, se profundiza en cada una de las aplicaciones mencionadas, con ejemplos concretos y fuentes confiables para respaldar la información:

Las ortofotografías sirven como base fundamental para la elaboración de mapas altamente precisos. Mediante un proceso de corrección geométrica, se elimina la distorsión causada por la perspectiva de la cámara, permitiendo representar la superficie terrestre con una escala uniforme. La ortofotografía y los modelos de elevación son herramientas valiosas para los ingenieros civiles, ya que les permiten recopilar y analizar datos precisos sobre el terreno y las infraestructuras. Esto las convierte en una herramienta invaluable para:

4.3.1.1 Cartografía Catastral y Planificación Urbana. El artículo "Digitalizar una ciudad: Medellín en 3D" describe el proceso de crear un mapa digital de la ciudad colombiana de Medellín utilizando drones y tecnología de modelado 3D. Este proyecto, realizado por la Alcaldía de Medellín en colaboración con Pix4D y otras empresas, Ha sido un éxito y se espera un impacto significativo en la gestión urbana. (Cómo Medellín se convirtió en una ciudad 3D, 2023).

El proyecto Medellín 3D empleó una combinación de tecnologías de vanguardia, incluyendo el software Pix4Dmatic para procesar las imágenes capturadas por drones, drones senseFly eBee X para realizar vuelos autónomos y capturar imágenes de alta resolución, y cámaras S.O.D.A. 3D para capturar imágenes en tres dimensiones, al final de la toma de datos se abarco un área de 17.500 hectáreas, con un total de 135000 imágenes.

Figura 30

Fotogrametría nube de puntos de Medellín



Nota. Medellín es una ciudad con mucha vegetación y estructuras altas. El gemelo digital de la ciudad es extenso en PIX4Dmatic. Imagen tomada de <https://www.pix4d.com/es/blog/digitalizar-una-ciudad-medellin-3d/>

El proyecto enfrentó desafíos como el clima montañoso de Medellín y la necesidad de obtener permisos de vuelo. Sin embargo, estos desafíos se superaron mediante una planificación meticulosa y una estrecha colaboración con las autoridades aeronáuticas.

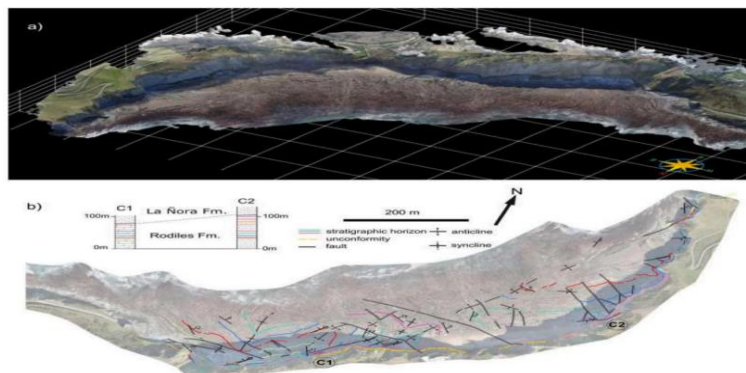
A pesar de los desafíos, el proyecto Medellín 3D se completó con éxito y se generó un modelo digital detallado y preciso de la ciudad. Este modelo tiene un gran potencial para mejorar la planificación y gestión urbana en Medellín, incluyendo la planificación de nuevos proyectos de infraestructura, la gestión de emergencias, el monitoreo ambiental y la conservación del patrimonio.

4.3.1.2 Geología. El uso de UAVs para la captura de imágenes en la fotogrametría ayuda a la creación de modelos virtuales de afloramientos geológicos. Esta tecnología puede mejorar nuestra comprensión de la geología y sus aplicaciones en diversos campos. Un ejemplo de esto es el estudio que logró generar modelos virtuales detallados y precisos de afloramientos geológicos en la Zona Cantábrica y la Cuenca Asturiana en el norte-noroeste de la Península Ibérica. Estos

modelos tridimensionales, como los generados en este estudio, posibilitaron una visualización inmersiva de las estructuras geológicas, facilitando la interpretación y comprensión de la geología estructural de la región. Se resaltó la utilidad de estos modelos virtuales en aplicaciones geológicas, tanto en la industria petrolera como en la enseñanza de la geología estructural. La combinación de técnicas digitales, como la fotogrametría con drones y cámaras montadas en trípodes, demostró ser efectiva para capturar y representar con precisión la complejidad de los afloramientos estudiados. La fotogrametría con drones permite capturar imágenes desde diferentes ángulos y perspectivas, mientras que las cámaras montadas en trípodes ofrecen una alta resolución y precisión en la captura de detalles. La combinación de ambas técnicas permite obtener modelos virtuales más completos y precisos que los que se pueden obtener con cada técnica por separado. (Uzkeda et al., 2022)

Figura 31

Afloramiento Peñarrubia



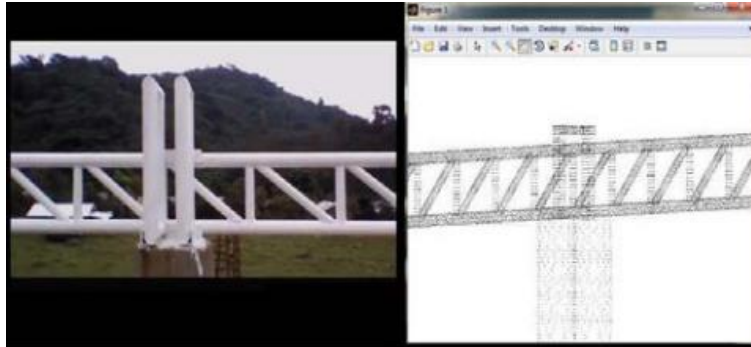
Nota. Afloramiento Peñarrubia a) Malla texturizada triangular que muestra el afloramiento obtenido mediante una cámara fotográfica montada en un UAV, y b) mapa geológico derivado de la interpretación de un modelo geológico 3D superpuesto a una ortofotografía del afloramiento. Imagen extraída de Revista de geología estructural, 157(104568), 104568.

<https://doi.org/10.1016/j.jsg.2022.104568>

4.3.1.3 Detección de Daños en infraestructuras. Identificación de grietas, fisuras, deformaciones y otros daños estructurales que podrían comprometer la seguridad. Eso en términos generales de su aplicabilidad, en el siguiente estudio que llevo a cabo, durante un periodo de 6 semanas consecutivas a partir de la segunda semana de enero de 2015, se llevó a cabo la validación del modelo de inclusión tecnológica UAV en la industria de la construcción. Se utilizó el método Delphi y se siguieron las cuatro fases presentadas por Astigarraga (2008). El objetivo era probar si el uso de UAV durante la etapa de identificación y reconocimiento facilitaba el trabajo de prevención de accidentes. Durante las sesiones semanales de aplicación del instrumento, los expertos utilizaron computadoras interconectadas en red a través de Skype para evitar sesgos. Un moderador del panel B acompañó a los expertos, logrando un procesamiento casi instantáneo de la información y garantizando una iteración y retroalimentación controlada. Además, se implementó la reconstrucción 3D en la industria de la construcción, lo que permitió recoger muestras mediante vuelo de reconocimiento por el UAV durante 3 semanas, considerando horarios específicos para la toma de imágenes y videos. Se utilizó el método de representación de profundidad inversa para el problema de SLAM monocular propuesto por Civera et al. (2008), lo que permitió obtener una descripción tridimensional de los puntos característicos contenidos en las imágenes y videos capturados por el UAV. (Toriz P., A., Raygoza B., M. y Martínez N., D., 2017)

Figura 32

Reconstrucción 3d



Nota: En relación a la reconstrucción y reconocimiento en 3D, se consiguió generar una representación detallada del entorno laboral mediante una nube de puntos, la cual se empleó para llevar a cabo un análisis más preciso. doi: 10.1016/j.riai.2016.09.004.

4.3.1.4 Evaluación del Estado. (Chen et al., 2023) describe un estudio que se centra en la reconstrucción 3D en tiempo real de tuberías urbanas utilizando un sistema de aeronaves no tripuladas (UAV) equipado con cámaras de profundidad Intel RealSense D435 y técnicas de SLAM visual. Se comparan tres métodos visuales SLAM: RTAB Map, ORB SLAM2 y Manhattan SLAM, con el objetivo de evaluar su efectividad en la reconstrucción de tuberías subterráneas.

Se destaca que RTAB Map sobresale sobre los otros métodos en términos de precisión de localización y reconstrucción 3D, demostrando robustez en entornos urbanos oscuros y de baja textura. Sin embargo, se menciona que el sistema propuesto enfrenta desafíos en tuberías metálicas lisas y escenas con textura deficiente, lo que motiva la futura integración de LiDAR, IMU y otros sensores para mejorar la precisión de la reconstrucción 3D.

El estudio resalta la importancia de la estabilidad del dispositivo para garantizar la calidad del vídeo y también menciona la financiación recibida para la investigación. En general, el documento enfatiza la viabilidad y eficacia del sistema propuesto para la reconstrucción 3D en

entornos de tuberías urbanas, subrayando la relevancia de la tecnología SLAM en aplicaciones de inspección y mantenimiento de infraestructuras subterránea (Chen et al., 2023)

La técnica de SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) y la técnica tradicional de SfM (Structure from Motion) son enfoques utilizados en la reconstrucción de objetos 3D, cada uno con sus propias características y aplicaciones. Aquí hay una comparación entre ambas técnicas:

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping):

Definición: SLAM es un enfoque que permite a un sistema móvil o sensorial construir un mapa de un entorno desconocido mientras simultáneamente localiza su posición dentro de ese entorno.

Características:

- Usa datos de sensores como cámaras y LIDAR para estimar posición y orientación en tiempo real.
- Adecuado para entornos dinámicos donde la ubicación del sistema puede cambiar.
- Puede utilizarse en aplicaciones de navegación autónoma, mapeo de interiores, etc.

Ventajas:

- Ofrece información en tiempo real sobre ubicación y entorno.
- Adaptable a cambios en el entorno

SfM (Structure from Motion):

Definición: SfM es una técnica que reconstruye la estructura 3D de un objeto a partir de imágenes 2D desde distintos ángulos.

Características:

- Requiere una secuencia de imágenes para estimar la estructura 3D.
- Adecuado para reconstrucciones detalladas y precisas de objetos estáticos.

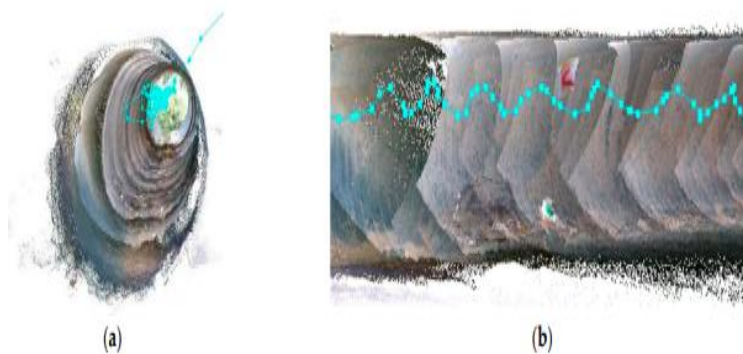
- Puede utilizarse en aplicaciones como modelado arquitectónico, reconstrucción de objetos, etc.

Ventajas:

- Proporciona reconstrucciones detalladas y precisas de objetos estáticos.
- Ideal para aplicaciones donde la escena no cambia significativamente.

Figura 33

Modelamiento de Tubería



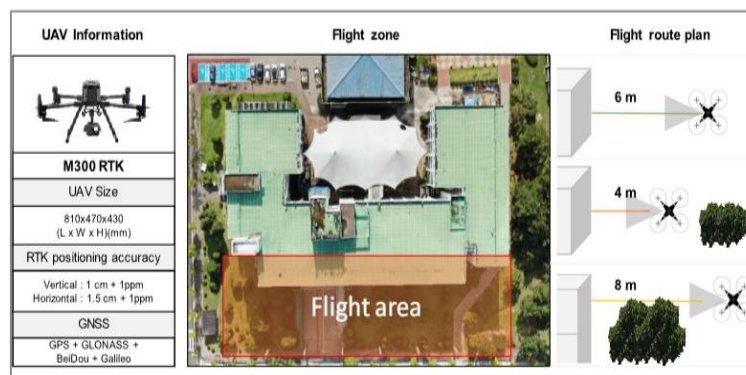
Nota: Los resultados de reconstrucción limitados con RTAB-Map: (a) la textura de las paredes de tuberías y la trayectoria del UAV; (b) las paredes de interconexión de tuberías y la trayectoria del UAV. imagen obtenida en [https://doi.org/ 10.3390/app132413182](https://doi.org/10.3390/app132413182)

4.3.1.5 Inspección de Infraestructura y Planificación de Mantenimiento. Como ejemplo de estos procesos de planificación y mantenimiento empleados en la ingeniería civil tenemos como caso de estudio el siguiente artículo científico “Métodos de modelado 3D automático basados en CNN y UAV para Inspección exterior del edificio”, El enfoque principal del documento es la utilización de métodos automáticos de modelado 3D para inspeccionar exteriores de edificios, empleando tecnologías como UAV y redes neuronales convolucionales (CNN). Estas técnicas posibilitan la creación de modelos 3D precisos de edificios, simplificando

la detección y registro de defectos, la evaluación del rendimiento energético y la planificación eficaz del mantenimiento. Se resalta la mejora en eficiencia, exactitud y seguridad que ofrecen estos métodos en contraste con las prácticas convencionales. Asimismo, se exploran las posibles aplicaciones del modelado 3D automático en la industria de la construcción, abarcando áreas como diseño, inspección, análisis de rendimiento y planificación de obras. (Yoon et al., 2023)

Figura 34

Misión de Vuelo



Nota: se deja claro el UAV a utilizar, la zona de vuelo y las posibles rutas de vuelo, fuente de la imagen (Yoon et al., 2023)

Se menciona que se estableció un plan de fotografía que consideraba factores ambientales cercanos. El UAV voló para capturar imágenes de la fachada desde diferentes ángulos, asegurando la cobertura completa de la parte frontal del edificio sin regiones duplicadas. Además, se tomaron puntos de control geográfico (GCP) para la geometría del edificio utilizando un sistema de información geográfica. Estos puntos de control y las imágenes recopiladas proporcionaron información sobre la ubicación de los elementos del edificio y los defectos. La resolución de las imágenes capturadas por la cámara del UAV y otros detalles técnicos también se mencionan en el documento.

Figura 35

Modelado 3d Fachada



Nota: Se visualiza la estructura a la cual se le ha tomado la fachada y el modelo 3d de la misma haciendo énfasis en puntos de referencia. (Yoon et al., 2023)

La inspección de la fachada del edificio se llevó a cabo con el fin de identificar y documentar posibles defectos presentes en ella. Es fundamental detectar grietas, desprendimientos, filtraciones y otros problemas durante el mantenimiento de edificios, ya que estos pueden comprometer la integridad estructural, la seguridad y la eficiencia energética a lo largo del tiempo. La inspección de la fachada permite no solo identificar estos defectos, sino también registrar su ubicación y características, facilitando así la planificación de medidas correctivas para mantener el edificio en óptimas condiciones. La implementación de métodos automáticos de modelado 3D, como se detalla en el documento, optimiza y perfecciona este proceso de inspección y mantenimiento del edificio.

Esto también es aplicado a otro tipo de edificaciones como lo son los puentes, esto lo podemos contemplar en el Artículo realizado por Zhiyuan Tang y compañía quienes concluyeron en su estudio, que los UAV pueden contribuir al avance de las prácticas de inspección y mantenimiento de infraestructuras en el campo de la ingeniería civil de las siguientes maneras:

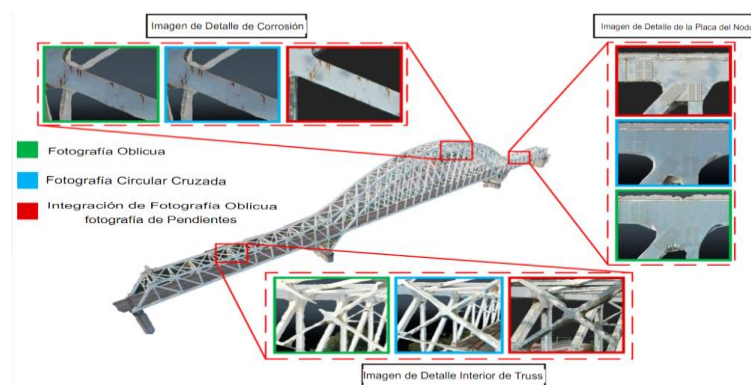
Mejora en la Precisión de Inspección: Al utilizar la combinación de fotografía oblicua con fotografía inclinada para generar modelos 3D detallados de puentes ferroviarios, se mejora la precisión de la inspección al proporcionar una representación más precisa de la estructura, lo que puede ayudar a identificar de manera más efectiva posibles problemas o daños en la infraestructura.

Detección de Problemas Estructurales: La mayor precisión y detalle de los modelos generados mediante este método pueden facilitar la detección de problemas estructurales, como la corrosión en componentes de acero o la falta de pernos en los puentes, lo que es crucial para el mantenimiento preventivo y la seguridad de las estructuras (Tang et al., 2023).

Optimización de Procesos de Inspección: Al utilizar tecnologías avanzadas como la fotografía aérea con UAV para generar modelos 3D detallados, se pueden optimizar los procesos de inspección al permitir una evaluación más exhaustiva de la infraestructura en menos tiempo y con mayor precisión (Tang et al., 2023).

Figura 36

Efectos detallados del Puente en su modelo 3D realista



Nota. Al realizar la visualización del modelo se dieron cuenta de que habían zonas con corrosión imágenes superior, algunos nodos de la estructura no se encontraban en buen estado imágenes al

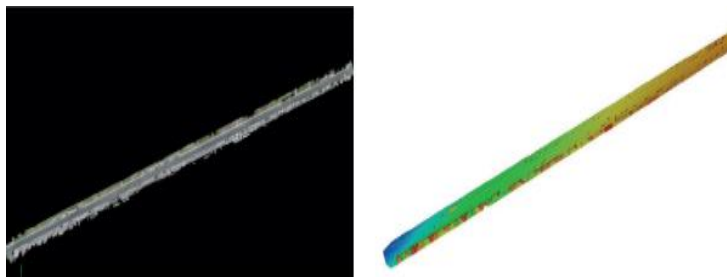
lado derecho, y que se pueden generar algunas disparidades en el modelo 3d según como se realice el levantamiento o la toma de dato.

Por lo tanto, los UAV pueden mejorar significativamente las prácticas de inspección y mantenimiento de infraestructuras en ingeniería civil al brindar herramientas y métodos de evaluación de estructuras más avanzados y precisos. Esto puede aumentar la seguridad y durabilidad de la infraestructura (Tang et al., 2023).

4.3.1.6 Vías. En el estudio de evaluación superficial de vías urbanas utilizando VANT se llevó a cabo una misión de vuelo planificada con anticipación para capturar imágenes georreferenciadas del estado superficial de la vía en estudio.

Figura 37

Datos procesados de la vía



Nota. A la izquierda se encuentra la Ortofoto de la zona de estudio y a la derecha el modelo digital de elevación imagen tomada de (Cruz y Gutiérrez. 2019)

Estas imágenes se procesaron para crear ortofotos y modelos tridimensionales, lo que permitió la aplicación del método del Índice de Condición del Pavimento (PCI) para evaluar el estado del pavimento. La información del VANT se analizó para detectar y evaluar fallas, utilizando el método PCI. Este enfoque ofrece ventajas para mejorar la gestión de mantenimiento urbano (Cruz y Gutiérrez. 2019).

4.3.1.7 Seguimiento de Obras. El cálculo de volúmenes de tierra sí se considera parte del seguimiento de obra. Es una fase fundamental para monitorear el progreso de la excavación, el terraplén o cualquier movimiento de tierra que se realice en la construcción o fuera de la construcción para el siguiente caso de estudio se realizó cálculos de volumen en una mina.

El proceso de cálculo de volúmenes en la mina de piedra caliza involucró la recopilación de datos con drones, la generación de un modelo 3D, la selección y delimitación del volumen de interés, el cálculo preciso del volumen utilizando software especializado y la evaluación de los resultados obtenidos. Este enfoque tecnológico permitió obtener mediciones más exactas y eficientes en comparación con métodos tradicionales de cálculo de volúmenes en entornos mineros. (Coria, E.V.,2018)

Cálculo de volúmenes de tierra con Pix4D

Pix4D es un software de fotogrametría que permite calcular volúmenes de tierra a partir de modelos de elevación digital (MDE) y ortofotografías. El proceso general para realizar este cálculo es el siguiente:

Procesar las imágenes: El primer paso es cargar las imágenes que se utilizarán para generar el MDE y la ortofotografía. Pix4D admite una amplia variedad de formatos de imagen, incluyendo JPG, TIFF y PNG. Calibrar las imágenes: Pix4D utiliza los metadatos de las imágenes, como la posición y orientación de la cámara, para calibrar las imágenes y corregir cualquier distorsión.

Generar el MDE y la ortofotografía: Pix4D utiliza un proceso llamado fotogrametría para generar un MDE y una ortofotografía a partir de las imágenes calibradas. El MDE es una representación tridimensional de la superficie del terreno, mientras que la ortofotografía es una fotografía aérea corregida geométricamente.

Seleccionar el área de interés: Una vez que se haya generado el MDE, se puede seleccionar el área de interés para el cálculo del volumen de tierra. Esto se puede hacer dibujando un polígono en el MDE o utilizando una herramienta de selección existente.

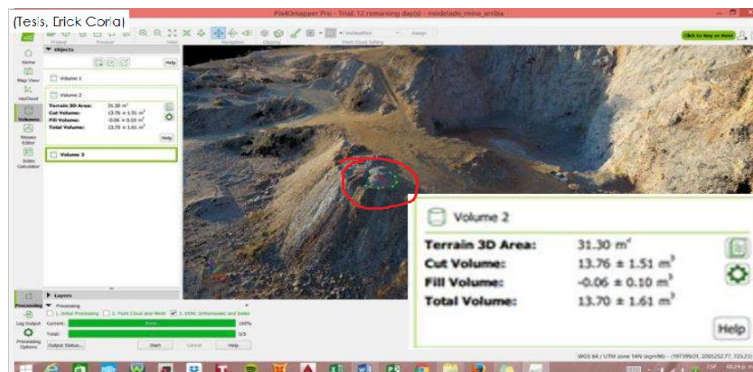
Calcular el volumen: Pix4D puede calcular el volumen de tierra dentro del área de interés utilizando el MDE. El volumen se calcula como la diferencia entre las elevaciones del terreno antes y después de la excavación o el relleno.

Visualizar el MDE y la ortofotografía: Pix4D permite visualizar el MDE y la ortofotografía en 3D y 2D. Esto puede ser útil para verificar la precisión del MDE y la ortofotografía.

Visualizar el volumen de tierra: Pix4D puede visualizar el volumen de tierra calculado en 3D y 2D. Esto puede ser útil para comunicar los resultados del cálculo del volumen a otras personas. Luego de realizar todo el proceso se obtuvieron los datos de volumen de caliza.

Figura 38

Volúmenes de Caliza



Nota. Para el caso de estudio donde se puede observar es donde se a realizado el cálculo de volumen el cual dio valores de 13.70m3 (Coria, E.V.,2018)

Análisis Y Discusión

La digitalización de la información mediante UAV ha emergido como una práctica disruptiva en la ingeniería civil, transformando la forma en que se recopilan y utilizan los datos geoespaciales en proyectos de infraestructura. Comparando diferentes enfoques y estudios presentados en el documento, se pueden identificar tendencias y beneficios significativos en el uso de UAV en ingeniería civil, basándose en imágenes de alta resolución que permiten una observación detallada proporcionando datos que aunque tienen que ser corroborados pueden ser una alternativa para levantamientos topográficos, esto no indica que los UAV reemplazan los levantamientos convencionales con estación total como lo indican Peña y Verjel (2023) en su estudio realizado, allí la estación total fue predominante en precisión, se recalca que la fotogrametría y la topografía se complementan para la generación de modelos 3D detallados, ortomosaicos y mapas que permiten una visualización detallada del entorno y las estructuras, facilitando las decisiones informadas en infraestructura. Los UAV han demostrado mejorar significativamente las prácticas de inspección y mantenimiento de infraestructuras en ingeniería civil al proporcionar herramientas y métodos de evaluación más avanzados y precisos (Tang et al., 2023). La combinación de fotografía oblicua y fotografía inclinada permite una inspección detallada de estructuras, facilitando la detección de problemas estructurales y la optimización de procesos de inspección (Cruz y Gutiérrez, 2019). Los UAV permiten realizar estudios e inspecciones de manera más rápida que los métodos convencionales, Acortando plazos y costos en proyectos de ingeniería civil, así como fue realizada la digitalización de La Ciudad de Medellín, que si se hubiera realizado con topografía convencional habría tomado mucho tiempo y no se podría detallar todas las zonas.

En el ámbito de la inspección de infraestructuras, se destaca la utilización de UAV para la producción de modelos 3D detallados que permiten la detección de problemas estructurales y la planificación eficaz del mantenimiento, es clave para detectar pronto daños en la infraestructura.

En el contexto de la inspección de infraestructura y planificación de mantenimiento, se destaca un estudio que emplea métodos automáticos de modelado 3D basados en redes neuronales convolucionales (CNN) y UAV para inspeccionar exteriores de edificios (Yoon et al., 2023). Estas técnicas avanzadas posibilitan la creación de modelos 3D precisos, simplificando la detección de defectos, la evaluación del rendimiento energético y la planificación eficaz del mantenimiento en la industria de la construcción.

En conclusión, la digitalización de la información UAV en ingeniería civil está revolucionando la forma en que se recopilan, procesan y utilizan los datos geoespaciales en proyectos de infraestructura. La combinación de tecnologías avanzadas, como UAV, software especializado y metodologías de modelado 3D, está impulsando la eficiencia, precisión y seguridad en la ejecución de proyectos de ingeniería civil, abriendo nuevas oportunidades para el desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes.

Conclusiones

Los Drones son un artefacto tecnológico muy completo y complejo que han revolucionado la forma de interactuar con el mundo desde el aire. Los cuales poseen unas características que los hacen únicos, como son: ausencia de piloto y control remoto, transmisor y receptor de radio, diversidad de tamaños y configuraciones ajustados a las necesidades de los usuarios, variedad de sistemas de propulsión, capacidad de vuelo autónomo, lo que aumenta significativamente su eficacia y versatilidad, amplia gama de sensores, esto amplía las posibilidades de investigación y la toma de decisiones. Intercambiando datos inmediatos y en tiempo real, lo que permite que el operador tenga un flujo constante de información y pueda controlar la misión de forma remota y con precisión. Los UAV son herramientas en constante evolución, versátiles, flexibles y adaptables a diferentes entornos, necesidades y tareas.

Existen tres tipos de UAVs: los de ala fija, los cuales se caracterizan por poseer ventajas significativas en cuanto a duración de vuelo, alcance, velocidad y capacidad de carga. Los multirrotor, los cuales permiten realizar maniobras complejas y mantener estabilidad en el aire. Su principal ventaja radica en su gran maniobrabilidad, lo que los hace ideales para volar en espacios reducidos o entornos complejos. Y los mixtos cuyo potencial de aplicaciones es amplio, incluyendo búsqueda y rescate, monitoreo y vigilancia, transporte de carga y aplicaciones militares. Desde la aparición de las aeronaves no tripuladas en 1849 y hasta la fecha, la tecnología de los drones continúa avanzando a pasos agigantados, impulsando el desarrollo de sistemas híbridos complejos que integran componentes mecánicos, digitales, eléctricos y aerodinámicos. Además, se intensifica la investigación de drones con alas rotatorias más accesibles, maniobrables y equipados con mejores cámaras, abriendo un abanico de posibilidades para su aplicación en diversos campos, desde las ingenierías hasta la agricultura.

Es importante mencionar que existe una normatividad para la operación de estas herramientas tecnológicas y que, para el caso de Colombia, deberá tenerse en cuenta el Reglamento Aeronáutico Colombiano, RAC 100, el cual establece las normas para la operación de Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (UAS), comúnmente conocidos como drones, en el espacio aéreo colombiano. (RAC 100, 2024). El RAC 100 clasifica los UAS en tres categorías según su peso máximo de despegue: categoría abierta, drones de hasta 25 kilogramos, categoría específica, drones de 25 a 250 kilogramos y categoría certificada, drones de más de 250 Kilogramos

la aplicación de los UAVS en la ingeniería, la cual no se limita únicamente al ámbito aéreo, sino que también se han empleado con éxito para la revisión de túneles y la captura de imágenes de los mismos. Los usos fotogramétricos se caracterizan por ser operaciones meticulosas que combinan la planificación estratégica, la adquisición precisa de datos y el procesamiento avanzado de imágenes para generar modelos 3D detallados y datos geoespaciales de gran valor. Las imágenes capturadas se procesan meticulosamente para corregir distorsiones, mejorar la calidad y extraer puntos de interés homólogos. También son usados para hacer seguimientos de obra, los cuales ofrecen una serie de beneficios que lo convierten en una herramienta invaluable para la gestión eficiente de proyectos de construcción. La precisión, la eficiencia y la capacidad de generar información detallada permiten a los responsables de la obra tomar decisiones más informadas, mejorar la calidad de la construcción y reducir los costos. Además, permiten hacer estimaciones de reservas de minerales, monitoreo de minas a cielo abierto y planificación de proyectos de minería; en la construcción ayudan en el monitoreo del progreso de la obra, el cálculo de volúmenes de excavación o relleno y el control de calidad de la construcción, igualmente en infraestructura en la planificación de carreteras, presas, canales, túneles, etc., y en la estimación de cantidades de materiales.

Referencias Bibliográficas

- 6 aplicaciones para planificar el vuelo de tu dron. (2017, May 9). Aerial Insights.
<https://www.aerial-insights.co/blog/6-aplicaciones-para-planificar-el-vuelo-de-tu-dron/>
- Amici, C.; Ceresoli, F.; Pasetti, M.; Saponi, M.; Tiboni, M.; Zanoni, S. Review of Propulsion System Design Strategies for Unmanned Aerial Vehicles [Revisión de las estrategias de diseño de sistemas de propulsión para vehículos aéreos no tripulados]. *Appl. Sci.* 2021, 11, 5209. <https://doi.org/10.3390/app11115209>
- Anjum, M. N., Cheema, M. J. M., Hussain, F., & Wu, R.-S. (2023). Precision irrigation [Riego de precisión]. In *Precision Agriculture* (pp. 85–101). Elsevier.
- ArcMap. (2021). ¿Qué son los datos LIDAR? Arcgis.com. Retrieved June 23, 2024, from <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>
- Armenia (2020) *Announcement [Anuncio]*. Available at: <https://mil.am/en/news/8680> (Accessed: 16 June 2024).
- Ávila Herrera, C.C. (2017) *Drones vs aeronáutica civil: Licencias para pilotos y su procedimiento.*, Novum Jus. Available at: <https://www.metarevistas.org/Record/3f9398f437601daed28b7f58687b50cf/Details#holdings> (Accessed: 19 June 2024).
- Bedoya, D. I. G., & Castrillón, R. (2019, August). Reconocimiento automático de ganado bovino a partir de imágenes aéreas tomadas con drones: Un enfoque exploratorio. In *Memorias de Congresos UTP* (pp. 32-39).
- Castillo, P., Lozano, R. y Dzul, A. (2005). *Modelling and Control of Mini-Flying Machines [Modelización y control de minimáquinas voladoras]*. London: Springer.

- Chen, X.; Zhu, X.; Liu, C. Real-Time 3D Reconstruction of UAV Acquisition System for the Urban Pipe Based on RTAB-Map [Reconstrucción 3D en tiempo real del sistema de adquisición de UAV para la tubería urbana basado en RTAB-Map]. Appl. Sci. 2023, 13, 13182. <https://doi.org/10.3390/app132413182>
- Chimborazo Villalta, F. P., & Espejo Navas, M. A. (2021). Ventajas de la implementación de modelos 3D utilizando drones para el diseño de redes de distribución (Bachelor's thesis).
- Cole, C. (2014). Rise of the reapers: a brief history of drones, Rise of the Reapers: A brief history of drones – Drone Wars UK (Consulta: 13 de junio de 2024).
- Cómo Medellín se convirtió en una ciudad 3D.* (2023, January 17). Pix4D. <https://www.pix4d.com/es/blog/digitalizar-una-ciudad-medellin-3d/>
- Coria, E.V. (2018) Calculo de volúmenes de una mina de piedra Caliza Por modelo 3d, implementando nuevas tecnologías (Drone), BibliotecaVirtual.dgb.umich. Available at: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/DGB_UMICH/3091/1/FIC-M-2014-0236.pdf (Accessed: 24 June 2024).
- Cruz, J.O. and Gutierrez, J.W. (2019) *Evaluación superficial de vías urbanas empleando vehículo aéreo no tripulado (VANT)*, Dialnet. Available at: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6936426.pdf> (Accessed: 27 June 2024).
- Cuerno-Rejado, C., García-Hernández, L., Sánchez-Carmona, A., Carrio-Fernández, A., Sánchez-López, J., Campoy-Cervera, P.. (2016). EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS HASTA LA ACTUALIDAD. DINA , 91(3). 282-288. DOI: <https://doi.org/10.6036/7781>
- de Madrid, C. (2015). Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. *Madrid: Comunidad de Madrid.*

Desarrollo tecnológico e innovación empresarial, edición 6, volumen 1, junio 2017. Issn 2322-8725

DJI (2013) *VUELA SEGURO, MAPA DE ZONA GEO, DJI FlySafe*. Available at: <https://www.dji.com/global/flysafe/geo-map> (Accessed: 27 June 2024).

Dron multicóptero - HYDRA-12. (2017, October 5). <https://www.directindustry.es/prod/altigator/product-192127-1910774.html>

Ehrhard, P.T. (2010). *Air Force UAVs The Secret History*. Mitchell Institute Press. DTIC ADA526045: Air Force UAVs: The Secret History : Defense Technical Information Center : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive

El Cronista (2024) *Envíos voladores, AMAZON Prime Air: cmo RECIBIR PAQUETES con DRONES - El Cronista*. Available at: <https://www.cronista.com/usa/lifestyle/envios-voladores-esta-ciudad-recibira-paquetes-de-amazon-por-drones/> (Accessed: 16 June 2024).

encyclopedia, naval (2023) *Fairey IIIF (1930), naval encyclopedia*. Available at: <https://naval-encyclopedia.com/naval-aviation/ww2/uk/fairey-iii.php> (Consulta: 14 de junio de 2024).

Escalante T., J.O.; Cáceres J., J.J. y Porras D., H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Revista Tecnura*, 20(50), 119-140. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a09

ESRI (2023) *Modelos Digitales de Elevación-Conceptos relacionados: Documentación, Modelos digitales de elevación-Conceptos relacionados | Documentación*. Available at: <https://learn.arcgis.com/es/related-concepts/digital-elevation-models.htm> (Accessed: 23 June 2024).

- Fairey III F Corsair y IV Seal* (2013) *Aviacion militar Argentina*. Available at: <https://www.amilarg.com.ar/fairey-iii-iv.html> (Consulta: 12 de junio de 2024).
- Ferreras, R. M. (2016, November 14). Modelos Digitales de Elevación: lo que el ojo no ve. Geoinnova; Asociación Geoinnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/modelos-digitales-de-elevacion-l/>
- Global Drone Market Research* (2023) *Drone Industry Insights*. Available at: <https://droneii.com/> (Consulta: 13 de junio de 2024).
- González, H., Martínez, J., Bueno, M., & Arias, P. (2017). Unmanned Aerial Systems for Civil Applications [Sistemas aéreos no tripulados para aplicaciones civiles]: A Review. *Drones*, 1(1), 1-19. doi: <https://doi.org/10.3390/drones1010002>
- Gupta, S., Ghonge, M., & Jawandhiya, P. (2013). Review of Unmanned Aircraft System (UAS). *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)* [Revisión de los sistemas aéreos no tripulados (UAS). Revista internacional de investigación avanzada en ingeniería y tecnología informáticas (IJARCET)], 2(4), 1646-1658
- Harding, L. (2024, June 8). Under a drone-filled sky, Ukraine tries to retake a town, one house at a time. *The Guardian*. [Bajo un cielo repleto de drones, Ucrania intenta recuperar una ciudad, casa por casa. El Guardián] <https://www.theguardian.com/world/article/2024/jun/08/under-a-drone-filled-sky-ukraine-tries-to-retake-a-town-one-house-at-a-time> (Consulta: 15 de junio de 2024).
- Hellfire, A., III. (2015, April 16). UAV o DRONE.. La historia de un arma diseñada para la guerra - published by AGM HELLFIRE III on day 2,704 - page 1 of 1. *Erepublic.com*. <https://www.erepublic.com/en/article/2516757>

- Hernández, W. M. (2023, August 1). *Los drones que atacaron Moscú provenían de Ucrania, según una fuente rusa de defensa*. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/mundo/europa/guerra-en-ucrania-drones-que-atacaron-moscu-hoy-provenian-de-kiev-791781> (Consulta: 15 de junio de 2024).
- Heutger, M. and Kückelhaus, M. (2014) *Unmanned aerial vehicles in Logistics, DISCOVER.DHL.COM [Vehículos aéreos no tripulados en Logística, DISCOVER.DHL.COM]*. Edited by D. Niesgoda and S. Endriß. Available at: <https://www.dhl.com/discover/content/dam/dhl/downloads/interim/full/dhl-trend-report-uav.pdf> (Accessed: 16 June 2024).
- IAEROCOL. (2023, July 26). Reglamento aeronáutico de Colombia: Conoce las novedades. *Instituto Educativo Aeronáutico de Colombia*. <https://iaerocol.co/blog/reglamento-aeronautico-de-colombia-rac-100/>
- Intedig, S. L. [@intedigs.l.5686]. (2019, August 15). INSPECCIÓN DE PUENTES Y OBRAS DE PASO CON DRONES. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=Mt2Rt-3dl2o>
- James, B. (1988). *Unmanned Air Vehicles - Real Time Intelligence Without the Risk*. Tesis de maestría. Naval Postgraduate School. Unmanned air vehicles - real time intelligence without the risk : Miller, James Bryan. : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive
- Javi (2023) *¿Qué es y cómo funciona una cámara multiespectral?*, UMILES. Available at: <https://umilesgroup.com/camara-multiespectral/> (Consulta: 14 de junio de 2024).
- Juárez Terrazas, A., Cureño Ramírez, A., & Ibarra Zannatha, J. M. (2022). Reconstrucción 3D Monocular de objetos con cámara montada sobre un dron. *Pädi Boletín Científico De*

- Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 10(Especial4), 128-135.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial4.9272>
- Keane, J.F. y Stephen, S.C. (2013). A brief history of early unmanned aircraft. Johns Hopkins APL Technical Digest [Breve historia de los primeros aviones no tripulados. Johns Hopkins APL Technical Digest], 32(3), pp.558-571.
- Liga Colombiana Drone Racing (LCDR)*. (2023, July 19). Liga Colombiana Drone Racing (LCDR); Liga Colombiana Drone Racing. <https://ligacolombiadrone racing.com/>
- Martínez, E. (2020, May 12). Tecnología hiperspectral ¿qué es? ATRIA Innovation. <https://atriainnovation.com/blog/tecnologia-hiperspectral/>
- Matternet (2022) El primer dron de reparto Matternet M2 del mundo recibirá la certificación de tipo FAA, Matternet. Available at: <https://www.mtr.net/> (Accessed: 16 June 2024).
- O'Malley, D. (2021, August 9). The mother of all drones. Vintage Wings of Canada [La madre de todos los drones. Vintage Wings de Canadá]. <https://www.vintagewings.ca/stories/mother-of-all-drones>
- Ojeda Bustamante, W., Flores Velázquez, J., & Ontiveros Capurata, R. (2016). Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico. http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/2193/IMTA_625.pdf?sequence=1
- OQ-2A Radio Controlled Target Unit (1941-1950). (2015, April 15). Museum of The American G.I. - Where U.S. Military History Comes ALIVE!; Museum of The American G.I. <https://americangimuseum.org/collections/restored-vehicles/oq-2a-radio-controlled-target-unit-1941-1950/>

- Orquera, E.I. (2020) *Análisis de Empleo de Sistemas Aéreos no Tripulad*, *flacsoandes.edu.ec*. Available at: <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/17205/2/TFLACSO-2020EIQG.pdf> (Accessed: 19 June 2024).
- Other global navigation satellite systems (GNSS). (2021). Gps.gov. Retrieved June 24, 2024, from <https://www.gps.gov/systems/gnss/>
- Peña Soto, C. A., & Arevalo Verjel, A. N. (2023). EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DE MODELOS DIGITALES DE TERRENO (MDT) EN LEVANTAMIENTOS FOTOGRAMÉTRICOS CON VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAV) Y LEVANTAMIENTOS CON EQUIPOS CONVENCIONALES. *REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO*, 14(2), 30–41. <https://doi.org/10.24054/raaas.v14i2.2786>
- Pérez, D.J. (2007). Introducción a los sensores remotos, aplicaciones en geología. Buenos Aires: UBA. [pdf] Disponible en: http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso_SR/Guia_Curso_sr_2007.pdf
- Prados, R., García, R., & Neumann, L. (2013). Construcción automática de ortofotomapas: una aproximación fotométrica. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 10(1), 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2012.11.010>
- Pucha Aguinza, P., & Zárate Torres, B. (2020). Evaluación superficial de pavimentos rígidos en carreteras mediante ortoimágenes obtenidas mediante un vehículo aéreo no tripulado. *Avances: Investigación En Ingeniería*, 17(2). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6599>
- RAC 100. (2024, abril). OPERACION DE SISTEMAS DE AERONAVES NO TRIPULADAS UAS. Aeronáutica Civil. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/VERSION%20DIC%2031%202016/RAC%20%20100%20->

%20Unidades%20de%20medida%20para%20las%20operaciones%20a%C3%A9reas%20y%20terrestres%20de%20las%20aeronaves.pdf

Rakha, T., & Gorodetsky, A. (2018). Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using drones [Revisión de las aplicaciones de los sistemas aéreos no tripulados (UAS) en el entorno construido: Hacia procedimientos automatizados de inspección de edificios mediante drones]. *Automation in Construction*, 93, 252–264. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.002>

Ríos-Hernández, R., (2021). Uso de los Drones o Vehículos Aéreos no Tripulados en la Agricultura de Precisión. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11 (4), 75-84.

Ronconi, G.B.A., Batista, T.J. y Merola, V. (2014). The utilization of Unmanned aerial vehicles (UAV) for military action in foreign airspace [Utilización de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para acciones militares en espacio aéreo extranjero]. *UFRGSMUN: UFRGS Model United Nations Journal*, 2, pp.137-180

Rushby, Rachel Simon. (2017). Drones armados y el uso de fuerza letal: nuevas tecnologías y retos conocidos. *Revista CES Derecho*, 8(1), 22-47. Retrieved June 11, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2145-77192017000100003&lng=en&tlng=es.

Se presenta un UAV híbrido VTOL de 6 horas de autonomía para cartografía, topografía y vigilancia. (2022, May 3). *Hispaviación*. <https://www.hispaviacion.es/se-presenta-un-uav-hibrido-vtol-de-6-horas-de-autonomia-para-cartografia-topografia-y-vigilancia/>

Sensores de drones para el Vuelo Estacionario y las maniobras con precisión en el aire (2024) *TE Connectivity*. Available at:

- <https://www.te.com/es/industries/aerospace/applications/drone-sensors.html#:~:text=Los%20drones%20utilizan%20sensores%20de,los%20drones%20volar%20con%20precisi%C3%B3n>. (Accessed: 14 June 2024).
- Seo, J., Duque, L., & Wacker, J. (2018). Drone-enabled bridge inspection methodology and application [Metodología y aplicación de la inspección de puentes mediante drones]. *Automation in Construction*, 94, 112–126. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.06.006>
- Shakhatreh, H., Sawalmeh, AH, Al-Fuqaha, A., Dou, Z., Almaita, E., Khalil, I., Othman, NS, Khreishah, A. y Guizani, M. (2019). Vehículos aéreos no tripulados (UAV): un estudio sobre aplicaciones civiles y desafíos clave de investigación. *Acceso IEEE*, 7, 48572-48634. Artículo 8682048. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909530>
- Singh, M., Vermaa, A., & Kumar, V. (2023). Geospatial technologies for the management of pest and disease in crops [Tecnologías geoespaciales para la gestión de plagas y enfermedades en los cultivos]. In *Precision Agriculture* (pp. 37–54). Elsevier.
- Tahir, M. N., Lan, Y., Zhang, Y., Wenjiang, H., Wang, Y., & Syed Muhammad Zaigham Abbas Naqvi. (2023). Application of unmanned aerial vehicles in precision agriculture. In *Precision Agriculture* [Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en agricultura de precisión. En agricultura de precisión] (pp. 55–70). Elsevier.
- Tang, Z., Peng, Y., Li, J., & Li, Z. (2023). UAV 3D modeling and application based on railroad bridge inspection. *Buildings*, 14(1), 26. <https://doi.org/10.3390/buildings14010026>
- Taranovich, S. (2019) *Comprender Los compromisos en el Diseño de drones antes de Acumular sensores*, Digikey. Available at: <https://www.digikey.com/es/articles/understand-drone-design-trade-offs-before-piling-on-the-sensors> (Accessed: 27 June 2024).

- Tejado-Ramos, J.-J., Chocarro-León, M., Barrero-Béjar, I., Valverde-Calvo, A., Ferreras-Moreno, M., Giraldo-Pavón, F., & Tarragona-Pérez, C. (2021). Enhancement of the sustainability of wolfram mining using drone remote sensing technology [Mejora de la sostenibilidad de la minería de wolframio mediante tecnología de teledetección mediante drones]. *Remote Sensing Applications Society and Environment*, 23(100542), 100542. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100542>
- Toriz P., A., Raygoza B., M. y Martínez N., D. (2017) «Modelo de inclusión tecnológica UAV para la prevención de trabajos de alto riesgo, en industrias de la construcción basado en la metodología IVAS», *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 14(1), pp. 94–103. doi: 10.1016/j.riai.2016.09.004.
- UPS (2020) *UPS flight forward and Wingcopter Desarrollan una nueva Y Versátil Flota de drones: Sobre ups, About UPS-US*. Available at: <https://about.ups.com/us/es/newsroom/press-releases/customer-first/ups-flight-forward-and-wingcopter-to-develop-versatile-new-drone-fleet.html> (Accessed: 16 June 2024).
- Uzkeda, H., Poblet, J., Magán, M., Bulnes, M., Martín, S., & Fernández-Martínez, D. (2022). Virtual outcrop models: Digital techniques and an inventory of structural models from North-Northwest Iberia (Cantabrian Zone and Asturian Basin) [Modelos de afloramientos virtuales: Técnicas digitales e inventario de modelos estructurales del Norte-Noroeste Ibérico (Zona Cantábrica y Cuenca Asturiana)]. *Journal of Structural Geology*, 157(104568), 104568. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2022.104568>
- van Rees, E. (2016, August 29). *Displaying LiDAR data in ArcGIS Desktop*. Geospatial Training Services; Geospatial Training Services, LLC [Visualización de datos LiDAR en ArcGIS

- Desktop. Servicios de formación geoespacial; Servicios de capacitación geoespacial, LLC]. <https://geospatialtraining.com/displaying-lidar-data-in-arcgis-desktop/>
- Vanden, B.T. (2008). Drone attacks hit high in Iraq. USA Today. Killer Drone Strikes Hit New High in Iraq | WIRED [Los ataques con aviones no tripulados alcanzan lo alto de Irak. EE.UU. Hoy en día. Los ataques asesinos con aviones no tripulados alcanzan un nuevo récord en Irak] (Consulta: 13 de junio de 2024).
- Yoon, Jonghyeon, Hyunkyu Shin, Kyonghoon Kim y Sanghyo Lee. 2024. "Métodos de modelado 3D automático basados en CNN y UAV para la inspección exterior de edificios" Edificios 14, no. 1: 5. <https://doi.org/10.3390/buildings14010005>
- Zaloga, S. (2011). Unmanned Aerial Vehicles: Robotic Air Warfare 1917-2007 [Vehículos aéreos no tripulados: guerra aérea robótica 1917-2007]. Oxford: Osprey Publishing.
- Zipline (2016) Technology: Zipline Drone Delivery & Logistics, Zipline. Available at: <https://www.flyzipline.com/technology> (Accessed: 16 June 2024).