

DRONES

PANORAMA ACTUAL Y APLICACIONES A LA INGENIERÍA CIVIL



A paso lento, pero con solidez, los drones se van abriendo camino en el ámbito de la ingeniería civil al demostrar que son herramientas útiles y económicamente ventajosas. La existencia de una normativa española específica y una normativa europea a punto de ser aprobada ponen de manifiesto que esta tecnología tiene su espacio asegurado de cara a futuro. Desde el CITOPIC le seguimos la pista de cerca para observar su evolución y a la vez formar parte de ella.

PABLO OROMÍ FRAGOSO Ingeniero civil. Piloto y operador profesional de RPAS

ISIDORO QUINTERO GUTIÉRREZ CEO Tecnofly Canarias, S.L. Piloto y operador profesional de RPAS

Robótica, realidad virtual, internet de las cosas (IOT), inteligencia artificial (IA), Big Data... ¿falta alguien por nombrar? Sí, los drones. La denominada industria 4.0 es la cuarta revolución industrial, la que nos está tocando vivir en este comienzo de siglo, y esos son sus protagonistas, sus alumnos aventajados. Pero es una lista que no se queda ahí, irá creciendo con el tiempo porque la innovación está hoy más activa que nunca y no cesan de aparecer nuevos inventos. Lo apasionante es que estos alumnos se llevan muy bien entre sí, no son sólo alumnos sino que también son amigos, estudian juntos, hacen planes juntos y corren aventuras en grupo, de lo cual surgen verdaderas sinergias. Ejemplo de ello es el concepto actual de dron, un aparato que combina informática, robótica, TIC, imagen, GNSS,..., y también la aeronáutica para ofrecernos una herramienta de trabajo con múltiples aplicaciones. ¿Cuáles son y qué nos aportan? En este artículo nos proponemos dar una visión del panorama actual en materia de drones y poniendo luego el foco en las aplicaciones a la ingeniería civil.

El dron (también denominado "RPA" –remotely piloted aircraft– o "UAV" –unmanned aerial vehicle–) no es un invento reciente: las aeronaves no tripuladas pilotadas por control remoto vienen siendo utilizadas desde hace más de 50 años en el ámbito militar, pero su generalización y acceso al gran público podemos situarlos dentro de este siglo XXI, más concretamente en la última década, en la cual hemos asistido a un importante auge por parte de estos aparatos. La posibilidad de embarcar una cámara con estabilizador a lomos de un artilugio volante de pequeñas dimensiones ha sido el motivo de tal auge, y ello ha dado paso posteriormente a numerosas y diversas funcionalidades.

Está demostrado que las nuevas tecnologías penetran en la sociedad humana a una velocidad que depende del nivel de utilidad y aceptación que dicha tecnología tenga en el ciudadano.

Ya sabemos de dónde viene. ¿Sabemos también hacia dónde va? ¿Estamos preparados para convivir acompañados de drones? Está demostrado que las nuevas tecnologías penetran en la sociedad humana a una velocidad que depende del nivel de utilidad y aceptación que dicha tecnología tenga en el ciudadano, por tanto hemos de saber que el dron se desarrollará en nuestra vida en la forma y ritmo que le imponamos entre todos, resultado del balance entre la fuerza que lo empuja –sector tecnológico– y la que pone condiciones –la sociedad en general–.

El sector de la aviación tripulada se caracteriza por contar con estrictos procedimientos y controles que permiten obtener altos niveles de seguridad en su actividad. Para este creciente sector de la aviación no tripulada (drones) es vital importar y aplicar esa cultura de la seguridad, un aspecto en el que se ha hecho especial hincapié en la última edición del congreso Civildron en Madrid, una de las más importantes citas anuales a nivel nacional en materia de drones.

ESTADO ACTUAL DE LA LEGISLACIÓN

España es país integrante de la Unión Europea y por tanto sometida a las obligaciones que ello conlleva. A nivel europeo se aprueban

multitud de normas (directivas...) que luego son transpuestas al marco jurídico de cada país comunitario. En materia de drones la UE ha tomado también iniciativa y se ha puesto manos a la obra para establecer una normativa común. Bien es cierto que muchos países habían tomado ya la delantera y regulado este sector para conseguir mantenerlo encauzado, pero con la entrada en vigor de la norma europea todos los países harán la correspondiente transposición y por tanto tendremos un marco común de actuación. Esto resulta fundamental para que se pueda cumplir aquella aspiración original de la UE cuando fue fundada (libre circulación de personas, trabajadores...) pues para que los operadores de drones puedan actuar libremente en todos los países es necesario que haya un reglamento común, y no es precisamente eso lo que existe ahora mismo: un operador habilitado en España –por poner un ejemplo– no por ello tiene automáticamente habilitación para hacerlo en Alemania, u otro país comunitario, sino que ha de habilitarse en cada país donde quiera operar. La UE está manos a la obra, pero no existe todavía un texto normativo comunitario.

En España se aprobó en 2014 una regulación provisional y posteriormente, tras un período de parón legislativo por la inexistencia

de acuerdo para formar gobierno en nuestro país, se aprobó por fin el Real Decreto 1036/2017 por el que se regula la utilización de aeronaves pilotadas por control remoto, que para alegría -aunque contenida- del sector, abría puertas para la utilización de los drones en determinados escenarios operativos antes no permitidos: vuelos en espacio aéreo controlado (cerca de aeropuertos), vuelos sobre aglomeraciones de edificios y aglomeraciones de personas, y vuelos nocturnos. El matiz está en que este tipo de vuelos son “autorizables”, es decir, se permite su realización pero bajo autorización explícita, la cual no es necesaria cuando se pretende realizar un vuelo que no reúna alguna de esas características, aunque siempre

es prescriptiva la habilitación como operador de drones cuando que se pretenda realizar un trabajo aéreo (también llamado “operación aérea especializada”), que se define como aquel en el que se utiliza un dron para realizar una actividad especializada.

Con la entrada de esta normativa sectorial en España un dron ya es considerado como aeronave, pero se diferencia de las aeronaves tripuladas en varios aspectos, uno de ellos fundamental: se le asigna una franja de vuelo entre 0 y 120 metros de altura sobre el terreno, a diferencia de aquellas tripuladas, que vuelan por norma general –salvo excepciones determinadas– por encima de 300 metros sobre el terreno.

Lo cierto es que la normativa actual española de drones resulta bastante compleja de interpretar y aplicar, y tanto o más aún es la habilitación como operador de RPA, que obliga a presentar gran número de documentos, a cursar el preceptivo curso de piloto de RPA en academia acreditada (ATO) y a la posesión de certificado médico y póliza de seguro de responsabilidad civil frente a terceros para cubrir posibles daños personales o materiales en caso de accidente.

A estas alturas de artículo el lector necesita ya un resumen sencillo de la normativa, y por tanto se ofrece a continuación, en el cual dividimos el uso recreativo del profesional:

Uso recreativo	Uso profesional (operaciones aéreas especializadas)	
Dron siempre al alcance de la vista	Habilitación como operador por AESA	
No es necesario tener título de piloto de RPA	Tener título de piloto de RPA	
Mayores de 18 o menor con supervisión de un adulto	Certificado médico aeronáutico en vigor	
Responsable de daños ocasionados. No necesario pero recomendable seguro RC a terceros	Poseer póliza de seguro de responsabilidad civil a terceros	
Cumplir ley de protección de datos y ley de derecho al honor e intimidad	Cumplir ley de protección de datos y ley de derecho al honor e intimidad	
	Operaciones en general, sin autorización explícita	Operaciones que necesitan autorización explícita
No volar sobre personas o edificios, salvo drones pequeños (<250 g)	No volar sobre personas o edificios	Volar sobre personas o edificios
Vuelo diurno (nocturno permitido a drones <2kg)	Vuelo diurno	Vuelo nocturno
No volar a menos de 8 km de aeropuertos	No volar a menos de 8 km de aeropuertos	Vuelo en espacio aéreo controlado

Para facilitar la interpretación de la norma y la realización de vuelos en cumplimiento de la misma el ente ENAIRE –gestor de la navegación aérea en España– ha desarrollado recientemente una app móvil y una aplicación web (<https://drones.enaire.es>) que funciona sobre una plataforma GIS y permite conocer de forma sencilla y clara las restricciones y condiciones en que debemos llevar a cabo vuelos en cualquier parte del territorio español.

TRÁFICO AÉREO DE DRONES

Por el momento no existe a nivel europeo una regulación del tráfico aéreo de drones más allá de las determinaciones de uso que establecen las respectivas normativas estatales, diferentes en cada país de la UE, pero la Comisión Europea ya está trabajando para encauzar adecuadamente el progresivo uso de drones en el cielo comunitario y un futuro sistema común de gestión de tráfico de estos aparatos. Es aquí cuando es obligado citar el U-space, que será el espacio aéreo a utilizar por los drones en el ámbito europeo. La SESAR JU (Single European Sky ATM Research Joint Undertaking) es una asociación público-privada promovida por la Unión Europea que está desarrollando este proyecto (<https://www.sesarju.eu/U-space>). El documento “U-space Blueprint” de 2017, firmado por la Comisaria Europea de Transporte, cita las siguientes características sobre el U-space:

Objetivos:

- Seguridad para las operaciones y las personas situadas en tierra
- Sistema flexible y adaptable que pueda responder a la demanda, volumen, tecnología y a los modelos de negocio y aplicaciones en compatibilidad con la aviación tripulada
- Sistema que permita una elevada densidad de operaciones

Por el momento no existe a nivel europeo una regulación del tráfico aéreo de drones más allá de las determinaciones de uso que establecen las respectivas normativas estatales, diferentes en cada país de la UE.

con multitud de drones automatizados bajo supervisión

- Garantizar un acceso equitativo y justo al espacio aéreo para todos los usuarios
- Activar servicios competitivos técnica y económicamente
- Aprovechar las infraestructuras y servicios aeronáuticos existentes para facilitar el desarrollo y abaratar las operaciones de RPA
- Acelerar el despliegue mediante tecnologías y estándares desde otros sectores que puedan aprovechar el U-space

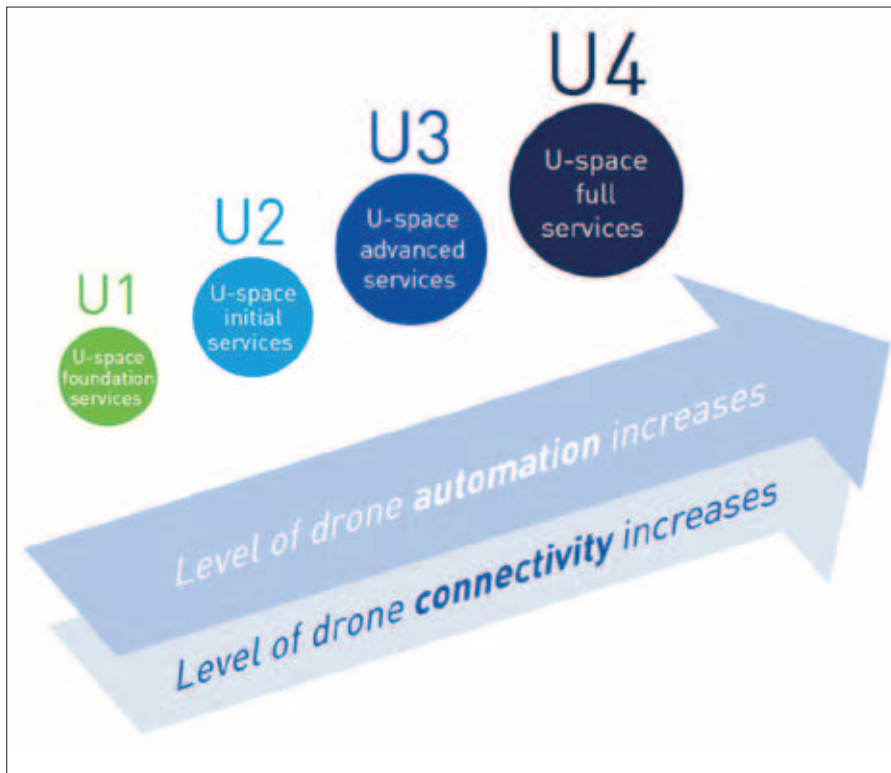
- Desarrollar los procedimientos apropiados de seguridad a la vez que se minimicen impactos en el medio ambiente y se garantice la privacidad del ciudadano.

Funcionamiento del U-space:

- Su ámbito se encontrará desde la superficie del terreno y hasta los 150 metros de altura sobre el mismo
- Registro electrónico de las aeronaves y operadores. Los drones deberán estar registrados para poder integrarse en el sistema, y también los operadores.
- Identificación electrónica de las aeronaves operantes para proporcionar seguridad de las operaciones
- Geofencing, mediante sistemas GNSS (sistemas de posicionamiento global), que permitirá delimitar de forma automática las áreas permitidas y las prohibidas al vuelo

La implantación del U-space se planteó en 4 fases:

- Fase U-1. Servicios básicos. Servicios de registro, identificación electrónica y geofencing
- Fase U-2. Servicios iniciales. Apoyo a las operaciones: planificación, aprobación de vuelos, seguimiento, información dinámica del espacio aéreo e interfaz de procedimientos con control de tráfico aéreo.
- Fase U-3. Servicios avanzados. Soporte a operaciones complejas en áreas de gran congestión de tráfico, gestión y asistencia para detección de conflictos.
- Fase U-4. Servicios completos. Automatización, conectividad y digitalización total del sistema y de los drones que operan en él.



Planificación de fases para el U-space. Fuente: "U-space Blueprint" (UE).

Por el momento no existe a nivel europeo una regulación del tráfico aéreo de drones más allá de las determinaciones de uso que establecen las respectivas normativas estatales, diferentes en cada país de la UE.

El sistema U-space, una vez operativa al menos su Fase U-2, contempla la realización de las operaciones de la siguiente forma:

- El operador elabora y remite el plan de vuelo al sistema de gestión de tráfico de drones (UTM-unmanned traffic management), que lo analizará y si procede, autorizará.
- Durante el vuelo la aeronave será monitorizada por el UTM, existiendo información bidireccional. El dron contendrá un sistema de detección y evitación de obstáculos (DAA-detect and avoid).
- Una terminado el vuelo se informará de ello y se recopilará toda la información relativa al mismo para ser analizada y poder ser de utilidad para mejorar futuras operaciones.

APLICACIONES EN INGENIERÍA

El uso de RPA's tiene una gran oportunidad de éxito comercial frente a las aeronaves tripuladas debido a un gran número de ventajas frente a estas:

- Menor coste de inversión
- Menor coste de operación
- Rapidez en la operación
- Tamaño reducido
- Posibilidad de trabajo en espacios confinados
- Vuelo autónomo
- Uso en áreas de alto riesgo o difícil acceso

Por ello, en el ámbito de la ingeniería civil e industrial ya tienen

múltiples aplicaciones, que se pueden dividir en tres apartados:

- Aplicaciones para fase de diseño
- Aplicaciones para fase de construcción
- Aplicaciones para fase de explotación

FASE DE DISEÑO

La aplicación principal en la fase de diseño es la obtención de levantamientos topográficos del terreno para la redacción de proyectos de infraestructuras. Los métodos más utilizados son los de fotogrametría y mediante LIDAR.

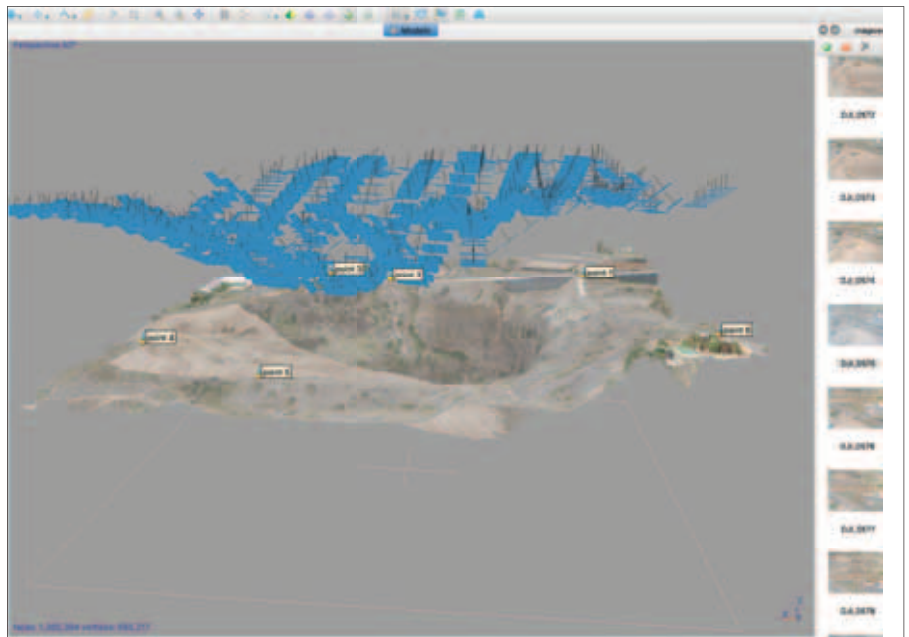
La técnica de fotogrametría permite modelar una superficie en 3D, generar planos, llevar a cabo mediciones (longitudes, áreas, volúmenes) y, por lo tanto, garantiza la precisión durante la generación de mapas y/o cálculos. En una primera

La aplicación principal en la fase de diseño de infraestructuras es la obtención de levantamientos topográficos del terreno para la redacción de proyectos de infraestructuras. Los métodos más utilizados son los de fotogrametría y mediante LIDAR.

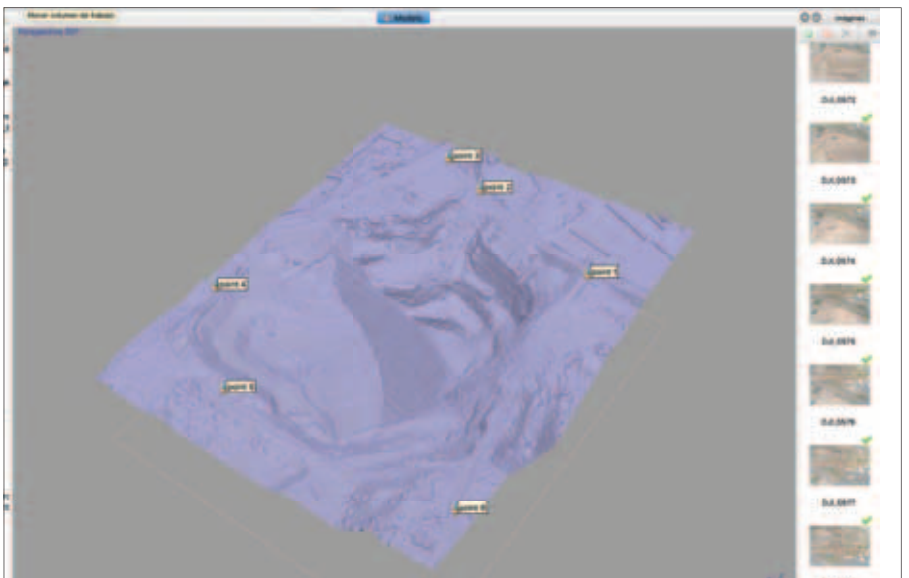
fase se realiza un vuelo con dron para tomar un conjunto de orto-fotografías con cierto solape entre ellas; estas fotografías se planifican con aplicaciones concretas que permiten realizar con el dron un vuelo automático en el que va tomando las fotografías ordenadamente a lo largo del recorrido planificado, permitiendo incluso hacer un vuelo en ladera con altura del dron constante sobre el terreno. Posteriormente, mediante software especializado se realiza la restitución fotogramétrica, que permite obtener el relieve de todo el terreno fotografiado, dando lugar a modelos digitales del terreno (MDT), nubes de puntos o curvas de nivel según se requiera, que son los datos necesarios para poder trabajar a nivel de proyecto básico o constructivo. A partir de ahí se pueden también obtener perfiles transversales para cálculo de áreas y volúmenes.



Planificación de ruta.



Localización de fotografías para levantamiento topográfico.



Modelo 3D obtenido por fotogrametría.

Para que la precisión del trabajo sea adecuada se requiere tomar las coordenadas de unos pocos puntos en campo con un GPS topográfico para luego georreferenciar con precisión el modelo de terreno obtenido.

¿Por qué hacer un levantamiento topográfico mediante drones? Vamos a enumerar sus ventajas frente al método tradicional:

- Mayores rendimientos por jornada de trabajo
- Reducción de plazos de entrega
- Ahorro de costes
- Obtención de mayor cantidad de información: se genera la planimetría de toda la zona que ha sido sobrevolada
- Obtención de elevadas precisiones, hasta 1 cm de GSD (ground sample distance).
- Con la utilización de sistemas RTK embarcado se consiguen elevadas precisiones
- Gran valor visual del trabajo final, que incluye no solamente topografía sino también imagen

La tecnología LIDAR incorporada en drones es una técnica de detección remota por láser que mapea un entorno 3D utilizando una georreferenciación directa precisa.

La técnica LIDAR está basada en tecnología láser, la cual permite saber la distancia entre el emisor láser y una superficie gracias a un haz de láser pulsado; esta tecnología láser es la utilizada en los equipos de topografía y cartografía tradicionales. Con la tecnología LIDAR se obtiene una cantidad de datos elevada que permite generar

nubes de puntos con las que se pueden determinar las superficies de la zona a examinar. Cada haz de luz se refleja en uno o más objetos, luego regresa al receptor. Al calcular el tiempo transcurrido entre la emisión del pulso y su recepción y conocer la velocidad de la luz, el sistema LIDAR puede medir la distancia entre la fuente y el objetivo.

El sistema LIDAR también incluye un sistema de posicionamiento GPS. Con este dispositivo, puede determinar la posición en el espacio en coordenadas x-y-z. La unidad inercial o IMU mide la orientación precisa del dron para cada punto estudiado.

¿Cómo funciona el sistema LIDAR?

1. La emisión del pulso láser.
2. La grabación de la señal retrodispersada.
3. La medida de la distancia.

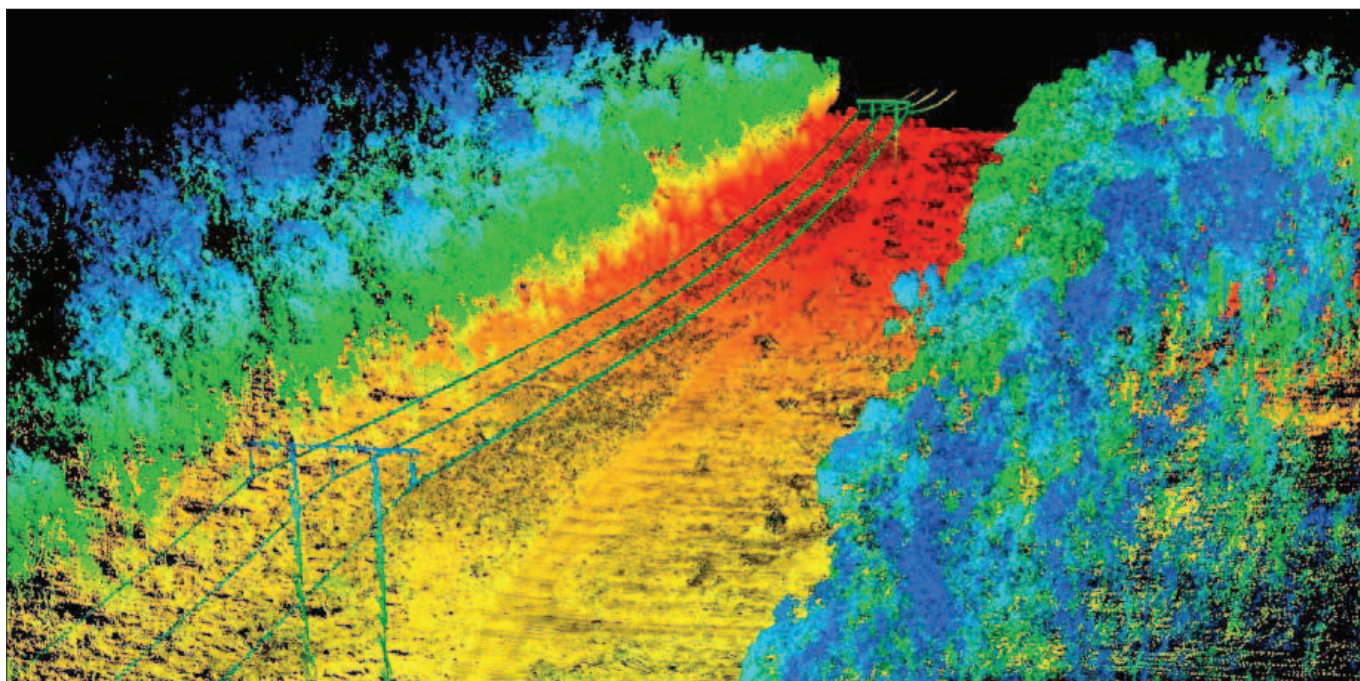
4. Recuperación de la posición y altitud del dron.
5. Procesamiento de datos.

Las ventajas de la técnica LIDAR frente a la fotogrametría con drones residen en el aspecto de que puede llegar a cualquier área evitando las "zonas de sombra", llegando incluso a rebotar debajo de la vegetación o en zonas con edificios altos debido a los ecos del LIDAR. Con esta tecnología también es posible detectar los cables del tendido eléctrico, telefónico, etc, gracias a la condición metálica de éstos. Además, una característica adicional a destacar de la tecnología LIDAR es la obtención de una precisión altimétrica de gran calidad.

El LIDAR embarcado en drones se utiliza en diversos ámbitos: agricultura de precisión, silvicultura, minería y canteras, carreteras y ferrocarriles, inspección de infraestructura y líneas eléctricas, y arqueología.



Dron multirrotor con equipo LIDAR embarcado.



Nube de puntos obtenida con LIDAR.

En fase de diseño resulta también muy útil el dron para realizar reconocimientos de terreno en los que resulta incómodo o inseguro el acceso de personas para tomar datos de campo. Esta tarea se puede realizar incorporando al dron cámaras RGB (cámaras de espectro visible) para toma de video y fotografía.

FASE DE CONSTRUCCIÓN

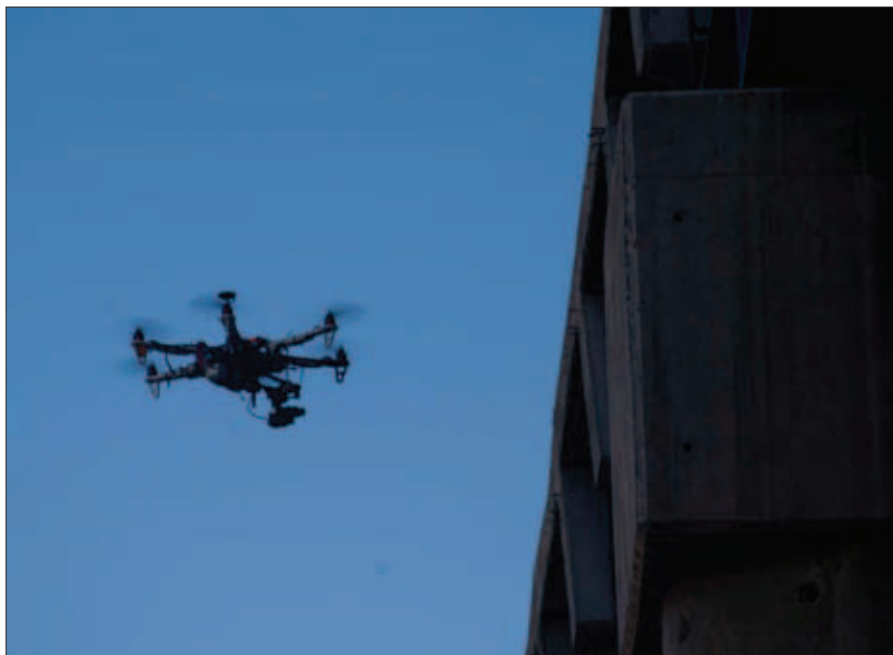
En fase de construcción es igualmente útil el sistema de fotogrametría o LIDAR para hacer un seguimiento de los volúmenes vaciados o terraplenados durante las obras, así como un seguimiento visual de las mismas mediante cámaras RGB. Por otro lado, también resulta de interés la utilización de drones mediante cámaras RGB y cámaras termográficas para realizar control de estabilidad de taludes, pues las primeras permiten caracterizar el modelo del terreno y sus modificaciones en el tiempo mientras que las segundas permiten observar la posible aparición de corrientes de agua que puedan desestabilizar el talud.

FASE DE EXPLOTACIÓN

En fase de explotación las mencionadas tareas para las fases de diseño y construcción son también aplicables, pero se nos abre aquí una puerta hacia la inspección de estructuras civiles e industriales, una actividad en la que los drones tienen presencia notable y que va en aumento. Aquellas estructuras cuyas dimensiones exigen la utilización de medios de elevación para su inspección son dignas merecedoras de ser revisadas mediante drones debido a las evidentes ventajas en términos económicos, de eficiencia y de seguridad. Son múltiples los casos en que pueden resultar útiles, ejemplos de ello son la inspección de puentes, aerogeneradores, torres eléctricas, etc. Existen otros casos en que no es la altura o poca accesibilidad de la infraestructuras el motivo de utilización de drones pero sí lo es la amplitud del terreno a inspeccionar, como es el caso de la inspección de huertos solares con placas fotovoltaicas. Los equipos utilizados en la inspección de todas estas infraestructuras mencionadas son cámaras RGB y cámaras

En fase de construcción es igualmente útil el sistema de fotogrametría o LIDAR para hacer un seguimiento de los volúmenes vaciados o terraplenados durante las obras.

termográficas, que permiten en el primer caso tomar imágenes visibles y en el segundo caso imágenes de temperatura de los elementos conformantes de la estructura, una cuestión muy útil y reveladora del estado funcional y de conservación de los mismos.



Inspección de estructuras.



Multirrotor



Ala fija. Fuente: internet.

La incorporación de cámaras termográficas a los drones está abriendo un campo novedoso de aplicaciones para un gran número de actividades. Tecnofly Canarias, en su habitual línea de innovación y actualización, se ha dotado de una de las mejores cámaras termográficas radiométricas del mercado para aprovechar las bondades de esta tecnología en sus actividades.

Al montar la cámara termográfica en un dron es posible revisar grandes cantidades de terreno o instalaciones en un único vuelo, así como acceder a zonas difíciles o casi impracticables sin riesgo humano alguno. De esta forma se evitan costosas operaciones al cliente, ahorrándose no sólo dinero sino también tiempo en la planificación y ejecución de esas actividades.

El uso de drones con cámaras termográficas radiométricas es hoy día la mejor solución para la inspección industrial, la inspección de edificios (fachadas y cubiertas),

la revisión de tendido eléctrico de alta tensión, controles de obras y fábricas, la supervisión de parques solares y aerogeneradores, inspecciones de oleoductos, presas y puentes, la detección de fugas de agua, etc, sin interrumpir la labor diaria de la empresa y minimizando los riesgos humanos.

La termografía permite la detección prematura de fallos y averías. Es una magnífica herramienta para el mantenimiento predictivo de instalaciones, y, si esta técnica se aplica desde drones, permite evitar los elevados gastos en una inspección desde una aeronave tripulada.

La termografía es una técnica ya habitual en los sectores industriales, de construcción y energético que permite medir con precisión las temperaturas superficiales de un objeto sin mantener contacto físico con él. El uso de los drones y las cámaras termográficas aporta cada vez más posibilidades y ventajas en este campo.

TIPO DE APARATOS

Para realizar trabajos aéreos con RPA para las diversas aplicaciones en ingeniería existen dos opciones de dron: multirrotor y ala fija. El primero tiene la capacidad de vuelo estacionario y a bajas velocidades, lo cual le permite mayor flexibilidad y mayor espectro de utilización, especialmente en la inspección de estructuras. Otra ventaja es la posibilidad de embarcar un mayor número de sensores diferentes para la toma de datos. El ala fija necesita espacios más amplios para operar y no puede mantener vuelo estacionario, pero ofrece la ventaja de una mayor autonomía y mayor velocidad operativa, que lo convierte en una solución ideal para cubrir grandes extensiones de terreno en poco tiempo (por ejemplo infraestructuras lineales), pudiendo cubrir muchas hectáreas en un solo vuelo.



Cámara termográfica (i) y cámara RGB (d) embarcadas en dron.

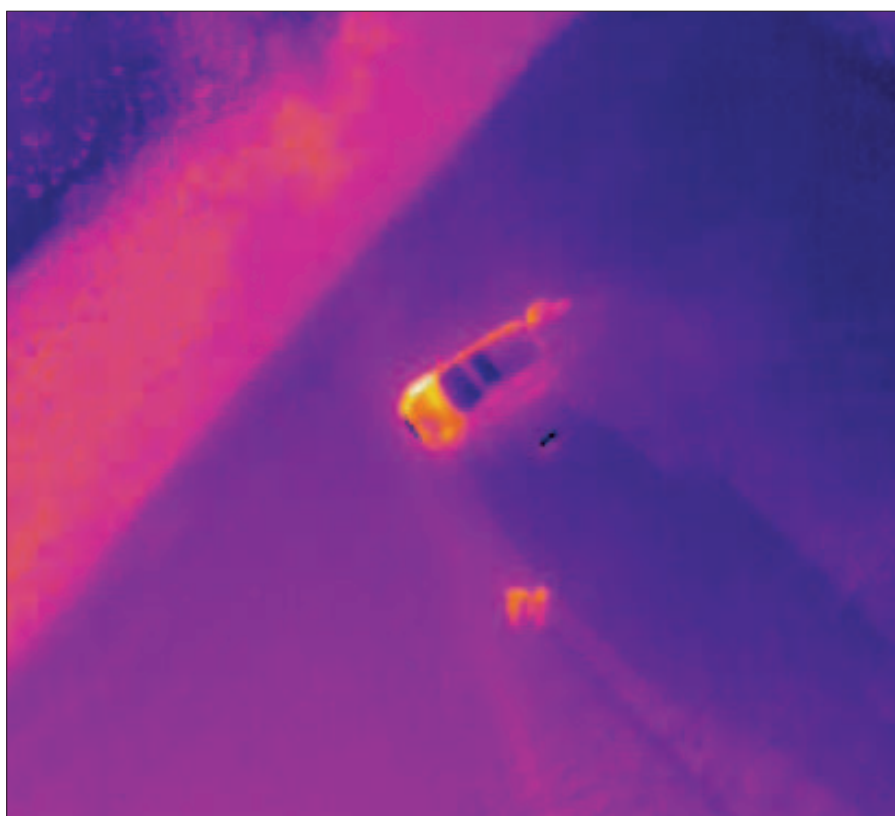


Imagen obtenida con cámara termográfica.

VISIÓN GENERAL DEL PANORAMA ACTUAL

En este momento la tecnología dron es ya una herramienta muy potente y con grandes ventajas desde el punto de vista técnico, económico y logístico. No obstante la legislación vigente es bastante estricta y su aplicación real se está produciendo con bastante lentitud debido al farragoso proceso de tramitación de autorizaciones y al elevado número de solicitudes de las mismas. Además, su carácter de tecnología emergente y las implicaciones que pueden tener sobre la vida diaria hacen que las administraciones competentes sean muy conservadoras, circunstancia ésta que añade un punto adicional de incertidumbre y ralentización del sector. Aún así, las ventajas del sistema son evidentes, de modo que ya el dron se ha ganado por méritos propios su espacio como tecnología útil en muchos ámbitos, incluido el sector de la ingeniería civil, y son ya muchas empresas y administraciones las que solicitan trabajos con esta tecnología.

Si queremos hacer uso de RPA's en nuestro proyecto de infraestructura, ya sea su fase de diseño, construcción o explotación, debemos en primer lugar contactar con un operador habilitado por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea –existe un registro de operadores en su web (https://www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/cias_empresas/trabajos/rpas/default.aspx) que nos asesorará sobre la posibilidad de realizar el trabajo en cuestión, tanto desde el punto de vista técnico como legal. Si bien esta tecnología es bastante reciente, el nivel de especialización en la materia ya ha adquirido bastante madurez, existiendo en nuestro país empresas y autónomos con gran conocimiento y experiencia que permiten proporcionar resultados muy satisfactorios al cliente. ■